



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ERMANO PREVOIR

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E
FOCOS DE CALOR EM VEGETAÇÃO NA ILHA HISPANIOLA**

Belém - PA
2020

ERMANO PREVOIR

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E
FOCOS DE CALOR EM VEGETAÇÃO NA ILHA HISPANIOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia
Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

Coorientadora: Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima

Belém - PA
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P944a Prévoir, Ermano
Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação e focos de calor em vegetação na ilha Hispaniola / Ermano Prévoir. — 2020.
47 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza
Coorientação: Prof^a. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Precipitação bimodal. 2. NDVI. 3. Focos de calor.
4. Climatologia do Caribe. I. Título.

CDD 551.6913

ERMANO PREVOIR

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E FOCOS DE CALOR EM VEGETAÇÃO NA ILHA HISPANIOLA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e dinâmica socioambiental na Amazônia
Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente.

Data de Aprovação: 07 /08 / 2020

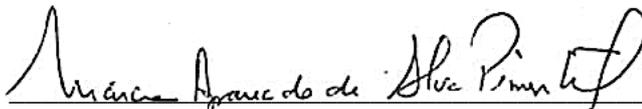
Banca examinadora:



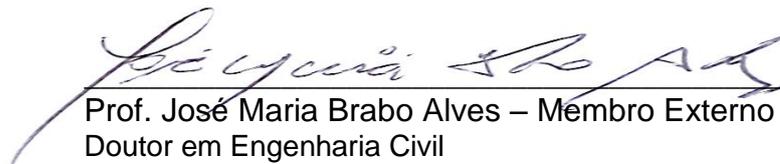
Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Julia Clarinda Paiva Cohen – Membro Interno
Doutor em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal do Pará



Prof. Maria Aparecida da Silva Pimentel – Membro Interno
Doutor em Geografia
Universidade Federal do Pará



Prof. José Maria Brabo Alves – Membro Externo
Doutor em Engenharia Civil
Universidade Federal do Ceará

*A Rose-Marie Telcide
e minha avó Lucienne Dérésias
já falecidas...*

AGRADECIMENTOS

Uma pesquisa científica nunca é realizada por só uma pessoa. Este trabalho é o resultado de um esforço conjunto de muitas pessoas e organizações e temos o prazer de agradecê-los.

Primeiramente, agradeço a Deus pela minha vida, sabedoria e força em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Everaldo de Souza, pela oportunidade e incentivo durante meu caminho como pesquisador e a minha co-orientadora, Profa. Aline Meiguins, pela sua ajuda nas correções.

A minha família que está sempre comigo, apesar da distância.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Coordenação e professores e professoras.

Agradeço a PROINTER e PROPESP da UFPA, especialmente a Profa. Marília Ferreira e Profa. Iracilda Sampaio pelas suas ajudas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Ao meteorologista Guilherme Martins do setor de Queimadas do INPE pela disponibilidade dos dados do satélite Aqua.

Aos meus colegas do PPGCA e amigos da UFPA que tive o privilégio de conhecer e compartilhar momentos de descontração e conquistas.

Sou grato a todos pela ajuda durante a pesquisa, pela companhia durante essa trajetória e pelas conquistas na vida pessoal e profissional.

*EBENÉZER! - Até aqui nos ajudou o Senhor!
I Samuel 7.12*

RESUMO

Os países insulares localizados na América central e Caribe são vulneráveis a variabilidade e mudança do clima. Neste trabalho apresenta-se uma contribuição aos estudos climatológicos particularmente da Antilha Hispaniola do mar do Caribe, formada pelos países da República do Haiti e pela República Dominicana, cobrindo uma área de 78 mil km². Baseado nas análises da precipitação da base CHIRPS com alta resolução espacial constatou-se um padrão climático bimodal em Haiti e República Dominicana com o primeiro pico pluviométrico ocorrendo em maio e o segundo em setembro/outubro. O regime seco acontece nos meses de janeiro a março. Os padrões espaciais dos mapas climatológicos e as análises de correlações indicaram que os regimes sazonais da Antilha são influenciados diretamente pela configuração da TSM e dos ventos alísios no mar do Caribe sobre o Oceano Atlântico, sendo que o máximo principal do segundo semestre é explicado pela presença de TSM mais quentes (acima de 29°C) e da banda de nebulosidade associada a ZCIT durante sua posição mais boreal. A avaliação quantitativa das correlações (simultâneas e defasadas) entre os dados de precipitação e índices de vegetação e de focos de calor, bem como a análise integrada do mapeamento dessas variáveis sobre o território da ilha Hispaniola, permitiram estabelecer relações consistentes nas dinâmicas de clima, vegetação e focos de calor. República Dominicana apresenta números muito maiores de focos de calor quando comparados aos de Haiti, sendo que as maiores frequências dos eventos se processam janeiro até abril, quando predomina o regime seco sobre a Antilha. Inversamente, durante o pico pluviométrico do segundo semestre, os focos de calor são mínimos e se concentram nos meses de agosto a dezembro. Quanto aos índices de vegetação há certa relação direta com o regime climático, com valores de NDVI maiores nas regiões espaciais contendo máximos de precipitação e vice-versa.

Palavras-chave: Precipitação bimodal. NDVI. Focos de calor. Climatologia do Caribe.

ABSTRACT

Insular or island countries located in Central America and the Caribbean are vulnerable to variability and climate change. This work presents a contribution to climatological studies, particularly of the Hispaniola Antilles of the Caribbean Sea, formed by the countries of the Republic of Haiti and the Dominican Republic, covering an area of 78 thousand km². Based on the analysis of precipitation from the CHIRPS base with high spatial resolution, a bimodal climate pattern was found in Haiti and the Dominican Republic with the first rainfall peak occurring in May and the second in September/October. The dry regime occurs from January to March. The spatial patterns of the climatological maps and the correlation analysis indicated that the seasonal precipitation regimes of the Antilles are directly influenced by the configuration of the SST and the trade winds in the Caribbean Sea over the Atlantic Ocean, with the main maximum of the second semester being explained by the presence warmer TSM (above 29°C) and by the cloudiness band associated with ITCZ during its most boreal position. The quantitative assessment of the correlations (simultaneous and lagged) between rainfall data and vegetation indexes and vegetation fires, as well as the integrated analysis of the mapping of these variables over the Hispaniola territory, allowed to establish consistent relationships in the dynamics of climate, vegetation and fires. Dominican Republic has much higher numbers of fires when compared to those in Haiti, with the highest frequency of events taking place from January to April, when the dry regime over the Antilles prevails. Conversely, during peak rainfall in the second half of the year, fires are minimal and are concentrated in the months from August to December. As for the vegetation indices, there is a certain direct relationship with the climatic regime, so that the higher NDVI are observed into regions containing maximum precipitation and vice versa.

Keywords: Bimodal precipitation. IVDN. Vegetation fires. Caribbean climatology.

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Localização da ilha Hispaniola composta pelos países da República do Haiti e República Dominicana.....17
- Figura 2- Mapa apresentando a topografia da Antilha Hispaniola composta pelos países da República do Haiti e República Dominicana.18
- Figura 3- a) Ciclo anual (média do acumulado mensal do período, 2004 a 2019) da precipitação no Haiti e na Repdom., em mm/mês e os valores médios para a ilha Hispaniola; b) Mapas de precipitação mensal de janeiro a dezembro sobre a Antilha, em mm/mês.....24
- Figura 4- Gráficos box plot da precipitação sazonal do Haiti e da Repdom. referentes a média 2004 a 2019.26
- Figura 5- Trimestre Jan-Fev-Mar da precipitação (PRECIP) na Antilha e da TSM no Atlântico e Pacífico, precipitação nos continentes e de vento próximo a superfície. Média 2004 a 2019. Precip (mm), TSM (°C), vento (m/s).27
- Figura 6- Trimestre Abr-Mai-Jun da precipitação (PRECIP) na Antilha e da TSM no Atlântico e Pacífico, precipitação nos continentes e de vento próximo a superfície. Média 2004 a 2019. Precip (mm), TSM (°C), vento (m/s).....28
- Figura 7- Trimestre Ago-Set-Out da precipitação (PRECIP) na Antilha e da TSM no Atlântico e Pacífico, precipitação nos continentes e de vento próximo a superfície. Média 2004 a 2019. Precip (mm), TSM (°C), vento (m/s).....29
- Figura 8- Séries temporais da precipitação (PRECIP) sazonal em Jan-Fev-Mar no Haiti e na REPDOM de 2004 a 2019. Correlações entre a precipitação média (PRECIP MED) e a grade de TSM e ROL. Áreas em azul/vermelho indicam correlações negativas/positivas de TSM. Para a ROL plotaram-se somente as correlações negativas acima de -0.4. Precip (mm), Correlação (%).....31

Figura 9- Séries temporais da precipitação (PRECIP) sazonal em Abr-Mai-Jun no Haiti e na REPDOM de 2004 a 2019. Correlações entre a precipitação média (PRECIP MED) e a grade de TSM e ROL. Áreas em azul/vermelho indicam correlações negativas/positivas de TSM. Para ROL plotaram-se somente as correlações negativas acima de -0.4. Precip (mm), Correlação (%).....	32
Figura 10- Séries temporais da precipitação (PRECIP) sazonal em Ago-Set-Out no Haiti e na REPDOM de 2004 a 2019. Correlações entre a precipitação média (PRECIP MED) e a grade de TSM e ROL. Áreas em azul/vermelho indicam correlações negativas/positivas de TSM. Para a ROL plotaram-se somente as correlações negativas acima de -0.4. Precip (mm), Correlação (%).....	33
Figura 11- Padrões espaciais da média anual da precipitação (contornos coloridos), focos de calor (símbolos 0) e NDVI (isolinhas em marrom e verde) sobre a antilha Hispaniola. Precip (mm), NDVI (adimensional) e QUEIMADAS (número de focos). Período 2004 a 2019.....	34
Figura 12- Médias mensais da precipitação, focos de calor e NDVI considerando as médias espaciais englobando o HAITI e REPDOM. Precip (mm), NDVI (adimensional) e Focos de calor (número de focos). Período - 2004 a 2019.....	35
Figura 13- Percentuais mensais da precipitação, focos de calor e NDVI para a) HAITI e b) REPDOM. Período 2004 a 2019.....	37
Figura 14- Padrões espaciais das médias do regime seco para precipitação (contornos coloridos), focos de calor (símbolos 0) e NDVI (isolinhas em marrom e verde) sobre a antilha Hispaniola. Precip (mm), NDVI (adimensional) e QUEIMADAS (número de focos). Período 2004 a 2019.....	39
Figura 15- Padrões espaciais das médias do regime chuvoso para precipitação (contornos coloridos), focos de calor (símbolos 0) e NDVI (isolinhas em marrom e verde) sobre a antilha Hispaniola. Precip (mm), NDVI (adimensional) e QUEIMADAS (número de focos). Período 2004 a 2019.....	40

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Estatística descritiva dos dados de precipitação (mm) nos regimes sazonais para Haiti e REPDOM, período de 2004 a 2019.....25
- Tabela 2- Correlações entre Precipitação x Focos de Calor e Precipitação x NDVI em HAITI e REPDOM, considerando as defasagens mensais de Lag0, Lag+1, Lag+2, Lag+3, Lag+4 e Lag+5. Período 2004 a 2019....38

LISTA DAS SIGLAS

Abr-Mai-Jun: Abril – Maio – Junho

Ago-Set-Out: Agosto – Setembro – Outubro

ASAN: Alta Pressão Subtropical do Atlântico Norte

CHIRPS: *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations*

IHSI : Institut Haitien de Statistique et d'Informatique

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Jan-Fev-Mar: Janeiro – Fevereiro – Março

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada)

OMA: Oscilação Meridional do Atlântico

OAN: Oscilação do Atlântico Norte

PNUE: *Programme des Nations Unies pour l'Environnement* (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)

ROL: Radiação Onda Longa

PRECIP: Precipitação

REPDOM: Republica Dominicana

TSM: Temperatura da Superfície do Mar

ZCIT: Zona de Convergência Inter-Tropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Área de estudo	17
3.2 Bases de dados e informações	19
3.3 Métodos e procedimentos de análise	20
4 RESULTADOS E DISCUSSOES	23
4.1 Ciclo anual da precipitação e regimes pluviométricos sazonais	23
4.2 Padrões climatológicos sazonais da precipitação e modulação oceano/atmosfera do Atlântico no mar do Caribe	26
4.3 Relações entre Precipitação, Focos de calor e NDVI	33
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Na região da América Central, particularmente nas áreas continentais das ilhas e Antilhas situadas no mar do Caribe sobre o Oceano Atlântico, os estudos climatológicos regionais são escassos. Isso se deve, basicamente, pela falta de uma rede de estações meteorológicas adequada, com consequente disponibilidade precária de dados históricos para análise climática (TAYLOR et al., 2013). A partir da década de 2000 em diante, o advento dos dados digitais em alta resolução espacial e temporais gerados através de técnicas de sensoriamento remoto dos dados derivados dos sensores a bordo dos satélites ambientais, possibilitou um avanço significativo nas investigações da climatologia dinâmica das regiões insulares.

Giannini et al. (2000), Gamble e Curtis (2008) e Gamble et al. (2008) reportaram que a característica climatológica proeminente na América Central e Caribe é o padrão bimodal (dois máximos durante o ano, um em Maio e outro em Setembro/Outubro) da precipitação, o qual se relaciona às complexas relações dinâmicas dos padrões de ventos alísios, de temperatura da superfície do mar (TSM) e o posicionamento do Centro de Alta Pressão Subtropical do Atlântico Norte (ASAN) e da banda de nebulosidade associada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

O entendimento aprofundado da variabilidade climática em escala regional é particularmente relevante nas ilhas do Caribe, em virtude dos seus impactos diretos nas práticas agrícolas de subsistência, bem como para o gerenciamento dos recursos hídricos (GAMBLE; CURTIS, 2008).

De acordo com Horn (2016), os incêndios na Hispaniola quanto no Haiti e tanto na RepDom. podem ter duas formas de surgimento: Natural ou antropico. O incêndio natural ocorre na região no período seco, gerando combustão espontânea ou ocasionada durante chuvas de curta duração que não dura o suficiente para garantir a umidade do solo (ROBBINS; ECKELMANN E QUINONES, 2008).

Os padrões espaciais de ocorrências de número de focos de calor indicam que os incêndios tendem a ocorrer em mais em áreas de planície onde o estabelecimento da agricultura é evidente (BOWMAN et al., 2009). A região do Caribe, particularmente a Antilha Hispaniola, onde a agricultura é praticada para a subsistência, é possível que os focos de calor estejam associados à

atividade humana, sobretudo pelas atividades agrícolas sem nenhuma tecnologia.

Não obstante, a região Caribenha tem sido frequentemente afetada por desastres naturais decorrentes das passagens de furacões e ciclones tropicais, ocorrência de terremotos, bem como o estabelecimento de secas prolongadas que intensificam os incêndios florestais nas vegetações. Estudos recentes sobre essa região (CAFFREY; HORN, 2015; CHAUVIN et al., 2017) apontaram que tais eventos progrediram nos últimos anos, com impactos significativos nas dimensões sociais e ambientais.

No presente estudo dar-se-á ênfase a região da Antilha Hispaniola (que engloba o Haiti e República Dominicana) no mar do Caribe, cujo ciclo pluviométrico anual exibe um pronunciado padrão bimodal (GAMBLE; CURTIS, 2008; TAYLOR et al., 2002), sendo que os períodos de secas e estiagens comumente associam-se aos incêndios florestais e interferem diretamente nas atividades da agricultura e pecuária, que são cotidianamente praticadas para a sobrevivência das populações caribenhas (FAO, 2006).

A abordagem de pesquisa científica interdisciplinar adotada no presente estudo enquadra-se nas temáticas de meteorologia/climatologia (ciclo anual e sazonal da precipitação) e suas relações com algumas variáveis da geografia física (padrões de vegetação e topografia), incluindo impactos ambientais dos focos de calor ou queimadas induzidos por fatores naturais (eventos de secas) e por atividades antrópicas (humanas).

Uma vez que as regiões da Antilha Hispaniola são classificadas como vulneráveis a variabilidade e mudança do clima (LEWSEY et al. 2004; MORON et al., 2015; TAYLOR et al. 2017), as análises integradas das diferentes bases de dados digitais possuem potencial para avançar nos estudos das ciências ambientais e assim contribuir para as políticas de gerenciamento dos recursos hídricos, manejo florestal e monitoramento dos incêndios e queimadas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral é investigar a variabilidade espaço-temporal dos regimes climáticos sazonais na Antilha Hispaniola (República do Haiti e República Dominicana) no mar do Caribe e suas relações com os focos de calor e índices de vegetação no período de 2004 a 2019.

Os objetivos específicos são:

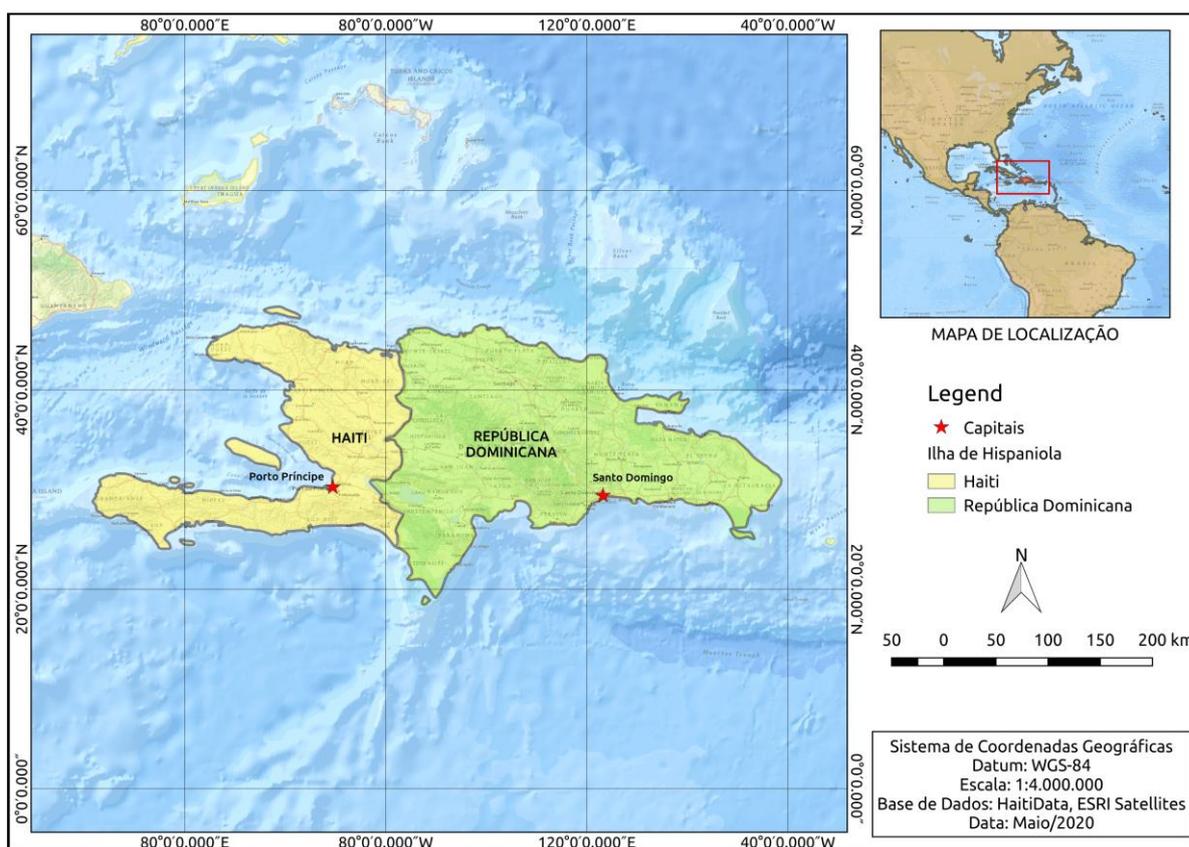
- Determinar o ciclo anual e os regimes sazonais da precipitação no Haiti e na República Dominicana, especificando a modulação oceano/atmosfera do Atlântico no mar do Caribe;
- Analisar as relações dos padrões espaciais de precipitação sazonal com focos de calor e índices de vegetação no Haiti e República Dominicana.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Hispaniola é a segunda maior ilha (77.914 km²) do arquipélago das Grandes Antilhas no mar do Caribe. Essa unidade geográfica natural é compartilhada por dois países (fig., 1) com diferentes línguas e culturas, o Haiti no terço ocidental (27.700 km²), a República Dominicana nos dois terços orientais de Ilha (48.730 km²). A Antilha Hispaniola é notável pela acentuada variabilidade fisiográfica de seu terreno, com sistemas montanhosos espalhados por toda a região, bem como pela grande variedade de ecossistemas que abrigam flora e fauna diversificadas (DIRENA, 1984).

Figura 1- Localização da ilha Hispaniola composta pelos países da República do Haiti e República Dominicana.

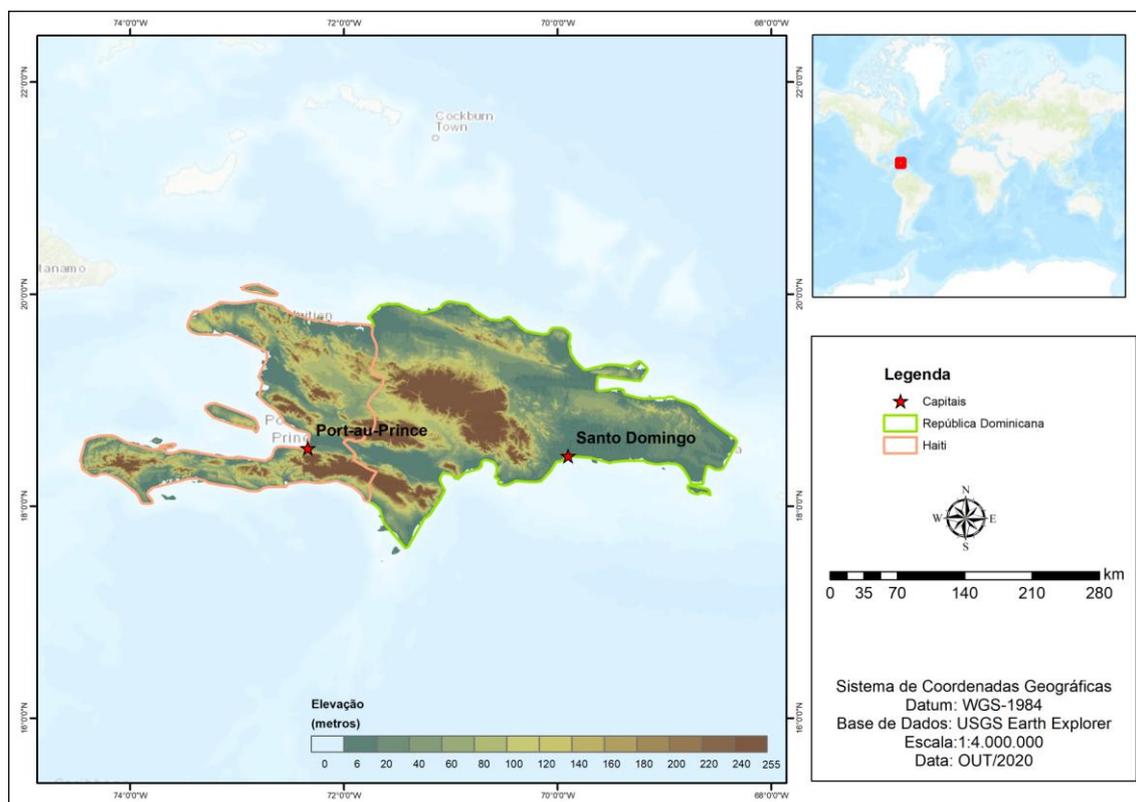


Fonte: Do autor.

As diferentes regiões da Antilha Hispaniola apresentam variações significativas em termos de volume anual de precipitação, devido a variação

topográfica da ilha (Fig. 2), padrões de ventos predominantes e passagem de tempestades tropicais e furacões. Nas regiões montanhosas ao longo da costa sul, a precipitação pode exceder 4000 mm (áreas mais úmidas), na região central verifica-se em média 1200 mm e nas planícies o volume pluviométrico é menor, com cerca de 550 mm (GFDRR, 2011). A região experimenta uma primeira estação chuvosa de abril a Junho, sendo que uma transição no mês de julho e uma segunda e mais importante estação chuvosa de agosto até o final de novembro. A estação seca começa em dezembro e continua até o final de março (GAMBLE; CURTUS, 2008; MORON et al., 2015; TAYLOR et al., 2002).

Figura 2- Mapa apresentando a topografia da Antilha Hispaniola composta pelos países da República do Haiti e República Dominicana.



Fonte: Do autor

Segundo Sambrook, Pigozzi e Thomas (1999) e Dolisca et al. (2007), nos países em desenvolvimento, como a Antilha Hispaniola, a explosão demográfica pressiona continuamente os recursos naturais que já são expostos. Sobretudo, as condições ambientais da Antilha Hispaniola são

críticas, devido ao habitat original limitado que sofre ações antrópicas de desmatamento e degradação da cobertura vegetal, extrativismo madeireiro e incêndios/queimadas provocadas pelo homem e outros fatores (ALSCHER, 2010). A cobertura florestal no Haiti diminuiu significativamente nos últimos 30 anos (1980 - 2010) (BELLANDE, 2015). No entanto, a situação ambiental na República Dominicana é muito melhor do que no Haiti, devido à conscientização ambiental através da conservação das áreas protegidas, aplicação das leis e aos esforços do Estado em relação ao meio ambiente (PNUE, 2013). Sendo que o sucesso dos esforços de conservação não se baseia apenas na compreensão das condições ecológicas, mas exige uma visão holística das causas subjacentes das questões de conservação, por exemplo uma mistura de considerações sociais, econômicas, geográficas e políticas (FRANKEMA; MASÉ, 2014).

3.2 Bases de dados e informações

Neste trabalho, todas as bases de dados são médias mensais dos anos de 2004 a 2019, compreendendo uma análise diagnóstica e observacional dos últimos 16 anos. Todos os dados digitais foram recortados e georeferenciados para o domínio geográfico da antilha Hispaniola. Abaixo descrevem-se as bases de dados utilizados.

Os dados de precipitação são da base CHIRPS - *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations* que foram compilados pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pelo *Climate Hazards Group at the University of California, Santa Barbara* (UCSB). Estes dados foram gerados através da combinação de diversas fontes: *Climate Hazards Group's Precipitation Climatology* (CHPClim); observações derivadas de satélites geoestacionários na banda do infravermelho termal, produtos de precipitação do *Climate Prediction Center* e do *National Climatic Data Center* (NCDC); precipitação do CFSv2 - *Coupled Forecast System* da NOAA, e dados de estações ao redor de todos o globo através do GTS. Os dados do CHIRPS encontram-se numa grade global com resolução de 0,05° que corresponde a uma resolução de 5,5 km. Maiores detalhes destes dados encontram-se descritos em Funk et al. (2015).

Os dados do NDVI - Índice de Vegetação Normalizada disponibilizados pelo NCEI (National Centers for Environmental Information) consistem de uma medida da cobertura da vegetação superficial sobre os continentes globais. O NDVI é gerado através de técnicas de sensoriamento remoto usando cálculos da refletância da superfície nas bandas espectrais do infravermelho e do infravermelho próximo derivados do Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites de órbita polar. Os dados digitais encontram-se numa grade global com resolução de $0,05^\circ$ e foram adquiridos no portal da NOAA e descritos em Eric (2019).

Os dados digitais de focos de calor ou focos de queimadas em vegetação são obtidos através de técnicas de sensoriamento remoto do produto MYD14, detectados em imagens do satélite Aqua, sensor Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), conforme metodologia de Giglio, Schroeder e Justice (2016). Os focos de calor representam pixels com a ocorrência de fogo ativo imageados pelo MODIS durante a passagem do satélite e possuem resolução espacial de 5×5 km. Os dados foram obtidos no portal do Banco de Dados de Queimadas do INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2016).

Os dados de TSM são provenientes da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e encontram-se disponíveis numa matriz de dados com resolução horizontal de 1° . Estes dados foram compilados por Reynolds et al. (2007) baseado nas informações coletadas por boias oceanográficas, navios e estimativas de satélites ambientais. Os dados de ROL, provenientes dos sensores a bordo dos satélites de órbita polar da NOAA (LIEBMANN et al., 1996), foram usados para identificar a convecção (nebulosidade) na região de estudo e encontram-se disponíveis numa matriz de dados com resolução espacial de $2,5^\circ$. Os dados de TSM, ROL e vento foram adquiridos para o período de 2004 a 2019.

3.3 Métodos e procedimentos de análise

Inicialmente as bases no formato de matrizes de dados georeferenciados (dimensões latitude, longitude, tempo e variável) de precipitação, focos de calor e NDVI foram recortadas para o domínio geográfico da Antilha Hispaniola, formando assim um conjunto de dados mensais no período de 2004 a 2019. Em seguida, foram obtidas as séries temporais mensais das médias espaciais (média dos pontos de grade de cada país) englobando o Haiti e República Dominicana.

As médias climatológicas mensais (médias dos 16 anos, 2004 a 2019) foram calculadas usando a expressão abaixo:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=2004}^{i=2019} X_i$$

Sendo \bar{X} as variáveis precipitação, focos de calor e NDVI, n = tamanho da amostra ($n=16$), i = meses de janeiro, fevereiro, ..., dezembro.

Os gráficos das médias climatológicas mensais de precipitação em Haiti e República Dominicana foram confeccionados para a análise do ciclo anual. A partir do ciclo anual, foram selecionados os regimes climáticos sazonais baseados nos valores quantitativos de máximos e mínimos da precipitação ao longo do ano.

A estatística descritiva dos dados de precipitação para os regimes sazonais selecionados foi calculada e plotada graficamente na forma de box plot. Este método serve para avaliar a distribuição empírica de uma série de dados quantitativos, permitindo a identificação dos valores típicos (média e mediana), a assimetria, a dispersão e os dados extremos. Primeiramente, calculam-se a mediana, o quartil inferior (q1), o quartil superior (q3) e os extremos inferior e superior da série de dados. Em seguida, traçam-se dois retângulos (duas caixas): uma representa a “distância” entre a mediana e o q1 e o outra a “distância entre o q3 a mediana. A partir dos valores de q1 e q3 são desenhadas linhas verticais até os valores extremos, tanto abaixo quanto acima. Os valores típicos são a mediana e a média. Se as duas caixas tiverem “alturas” semelhantes ($q1 - mediana = mediana - q3$), a distribuição é dita simétrica. Quanto maiores as “alturas” das caixas maior a dispersão da série de dados, isto é, mais assimétrica é a distribuição.

Com os dados dispostos na forma de matriz de dados georeferenciados, utilizou-se o software GrADS para a geração e plotagem dos mapas climatológicos de precipitação e posterior análise da distribuição espacial nos territórios do Haiti e República Dominicana. Além disso, também foram gerados os mapas climatológicos espaciais das variáveis temperaturas da superfície do mar (TSM) e radiação de onda longa (ROL), com o objetivo de avaliar os padrões oceano-atmosfera sobre a região do Atlântico e mar do Caribe e sua modulação nos regimes pluviométricos sazonais da Antilha.

Foram calculadas as correlações entre as séries temporais de precipitação nos regimes climáticos sazonais com as grades espaciais de TSM e ROL, com o objetivo de se investigar a modulação dos padrões oceano/atmosfera do Atlântico no Mar do Caribe.

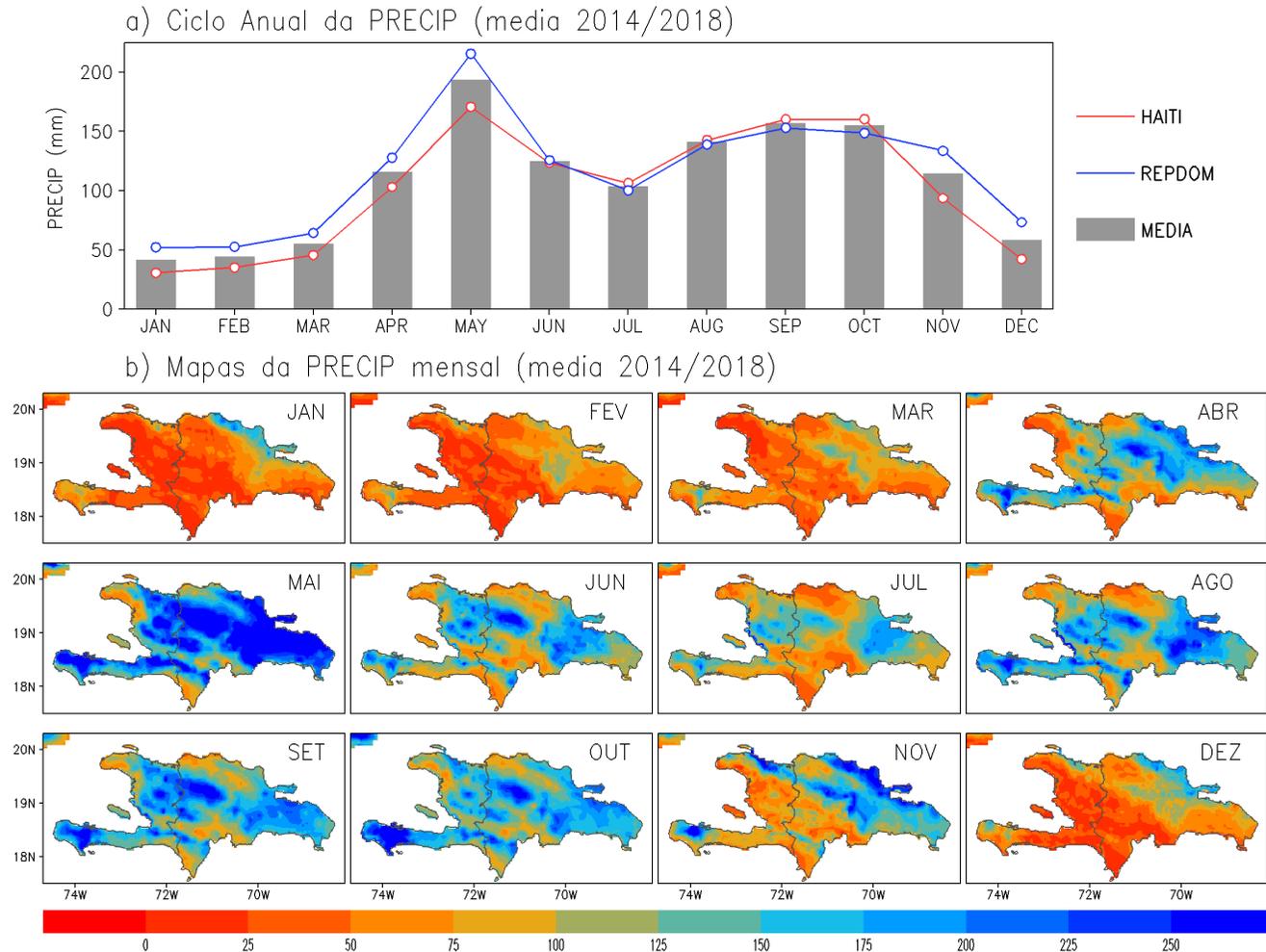
As relações entre o clima (precipitação) e a ocorrência e distribuição dos focos de calor sobre a Antilha, bem como do clima com os índices de vegetação (NDVI), foram investigadas através das análises integradas dos mapas espaciais das variáveis precipitações, focos de calor e NDVI, considerando as médias anuais e regimes sazonais. Para a análise quantitativa das relações entre clima, focos de calor e vegetação, foram calculados as correlações (simultânea e defasadas) entre as séries temporais de precipitação e as demais variáveis. Assim, a correlação de Lag0 considera as séries variando simultaneamente (Jan x Jan). As correlações com defasagem Lag+1 considera a variação Jan x Fev (um mês adiantado), Lag+2 de Jan x Mar (dois meses adiantados) e assim por diante, até o Lag+5 de Jan x Jun (cinco meses adiantados). Tais correlações visam estabelecer a resposta do clima (quantidade de precipitação) na ocorrência de focos de calor e dos índices de vegetação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ciclo anual da precipitação e regimes pluviométricos sazonais

A Figura 3 ilustra o ciclo anual da precipitação (médias mensais de janeiro a dezembro) no Haiti e na República Dominicana. Sendo que, as precipitações variam tanto do ponto de vista geográfico como também no aspecto sazonal. Observam-se claramente dois máximos ocorrendo em maio e em setembro/outubro, os quais caracterizam a existência de um padrão bimodal da precipitação na região. Assim, podem-se distinguir ao longo do ciclo anual dois regimes climáticos chuvosos com o primeiro pico máximo anual no trimestre Abr-Mai-Jun e o segundo pico máximo no trimestre Ago-Set-Out. Nos padrões espaciais da Fig. 3, evidencia-se que a Antilha apresenta quatro meses com pluviometria reduzida (dezembro, janeiro, fevereiro e março), considerados como regime seco ou menos chuvoso. Nestes meses, notam-se valores entre 35 e 40 mm no Haiti e entre 55 e 60 mm na REPDOM, considerado o período mais crítico em relação ao regime pluviométrico na ilha Hispaniola. De abril até novembro a precipitação é mais intensa sobre a ilha, chegando a valores superiores a 225 mm. Os meses de Abr-Mai-Jun e Ago-Sep-Out apresentam as maiores médias de precipitação com 100 mm até 170 mm para o Haiti e de 110 mm até 210 mm para a REPDOM, respectivamente. Maio e outubro obtiveram as maiores médias de precipitações desse período: 170 mm e 150 mm para o Haiti e 210 mm e 145 mm para a REPDOM. A região oeste da ilha Hispaniola, que representa o Haiti, recebe menos precipitação, tanto no período seco quanto no primeiro período chuvoso. Durante o início do segundo período chuvoso, que começa em agosto, o volume de chuvas no Haiti aumenta progressivamente até outubro. Avaliando os padrões de precipitações pôde-se observar que, dentre os meses chuvosos, o mês de julho apresentou maior irregularidade de chuvas, com padrão de 95 mm para o Haiti e 90 mm para a REPDOM.

Figura 3- a) Ciclo anual (média do acumulado mensal do período, 2004 a 2019) da precipitação no Haiti e na Repdom., em mm/mês e os valores médios para a ilha Hispaniola; b) Mapas de precipitação mensal de janeiro a dezembro sobre a Antilha, em mm/mês.



Fonte: Do autor.

Portanto, baseado nos resultados do ciclo anual e dos padrões espaciais de precipitação na Antilha (Fig. 3), consideram-se nas análises posteriores deste trabalho os seguintes regimes climáticos sazonais:

- O regime seco representado pela média dos meses janeiro a março (Jan-Fev-Mar);
- O regime chuvoso do primeiro semestre representado pela média entre os meses de abril a junho (Abr-Mai-Jun);
- O regime chuvoso do segundo semestre representado pela média entre os meses de agosto a outubro (Ago-Set-Out).

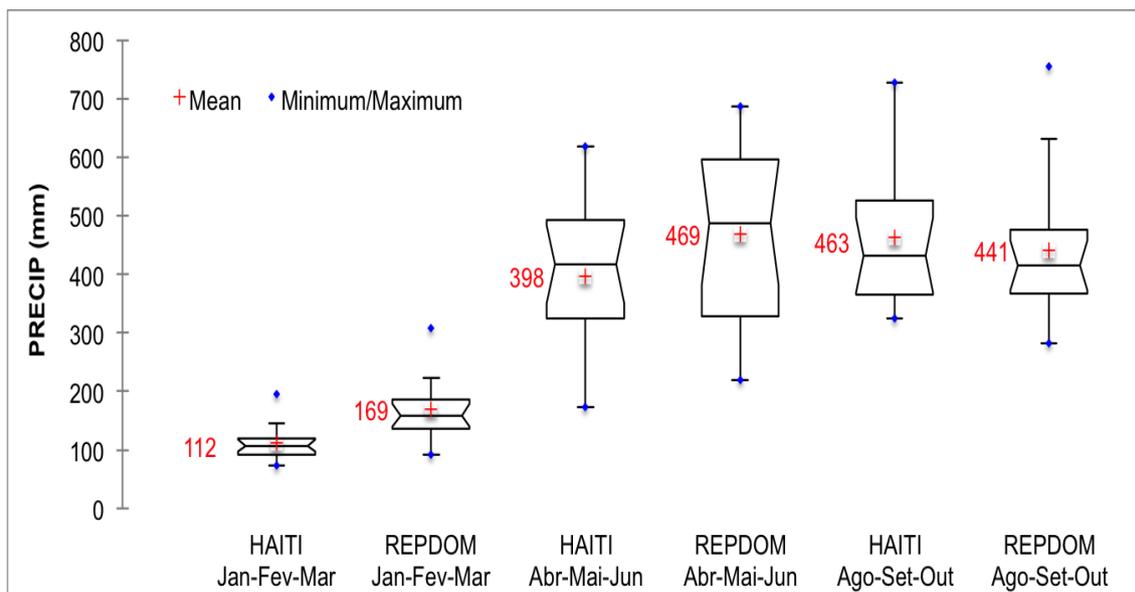
Os demais meses são considerados como transição entre um regime e outro. A Tabela 1 mostra os resultados da estatística descritiva e a Figura 4 ilustra os gráficos Box Plots das médias sazonais de precipitação no Haiti e REPDOM. Observa-se que o regime de Jan-Fev-Mar apresenta precipitação reduzida com médias de 112 mm no Haiti e 169 mm na REPDOM. No entanto, nos outros períodos sazonais, como Abr-Mai-Jun as médias de precipitação oscilaram de 398 mm no Haiti e 469 mm na REPDOM, enquanto no regime de Ago-Set-Out a precipitação atinge valores de 463 mm no Haiti e 441 mm na REPDOM. Também a variância e o desvio padrão mostram a dispersão na distribuição da precipitação sazonais na Antilha Hispaniola.

Tabela 1- Estatística descritiva dos dados de precipitação (mm) nos regimes sazonais para o Haiti e REPDOM, período de 2004 a 2019.

	Maximo	Mínimo	1oQuartil	Mediana	3oQuartil	Média	Variância	Desv.Padrão	Coef.Variação
HAITI									
Jan-Fev-Mar	73	195	92	107	119	112	810	28	0,3
REPDOM									
Jan-Fev-Mar	92	309	137	159	185	169	3512	59	0,4
HAITI									
Abr-Mai-Jun	172	619	325	417	494	398	16497	128	0,3
REPDOM									
Abr-Mai-Jun	219	687	328	487	595	469	22866	151	0,3
HAITI									
Ago-Set-Out	324	727	365	432	525	463	15352	124	0,3
REPDOM									
Ago-Set-Out	282	755	367	415	475	441	15768	126	0,3

Fonte: Do autor.

Figura 4- Gráficos box plot da precipitação sazonal do Haiti e da Repdom. referentes a média 2004 a 2019.



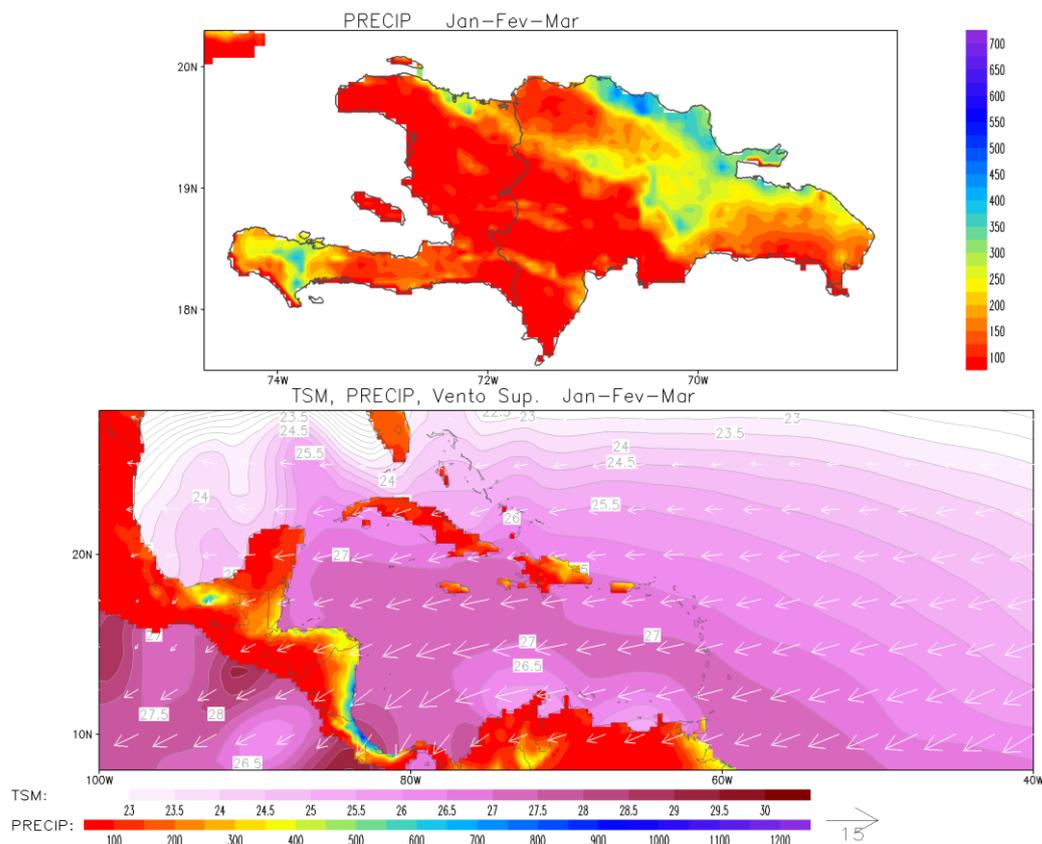
Fonte: Do autor

4.2 Padrões climatológicos sazonais da precipitação e modulação oceano/atmosfera do Atlântico no mar do Caribe

As Figuras 5, 6 e 7 mostram os padrões espaciais da precipitação sobre a Antilha Hispaniola nos regimes sazonais de Jan-Fev-Mar, Abr-Mai-Jun e Ago-Set-Out, respectivamente, e também plotam-se as respectivas climatologias de TSM e vento em superfície sobre a área oceânica do Atlântico no mar do Caribe, bem como a precipitação continental.

Nos padrões climatológicos de Jan-Fev-Mar (Figura 5), observa-se que a Antilha é mais seca particularmente no centro com uma precipitação inferior a 150 mm atingindo grande parte do Haiti e a porção ocidental da REPDOM. Somente na faixa leste/nordeste, o volume de chuva na REPDOM é mais intenso, com valores entre 300 e 400 mm. O campo de TSM mostra valores entre 26°C e 27°C próximos a Antilha e os padrões de vento são eminentemente de leste sobre toda a região. Nota-se ainda que a precipitação sobre os continentes é predominantemente abaixo de 200 mm, caracterizando o regime seco na região do Caribe e América Central (Gamble et Curtus, 2008).

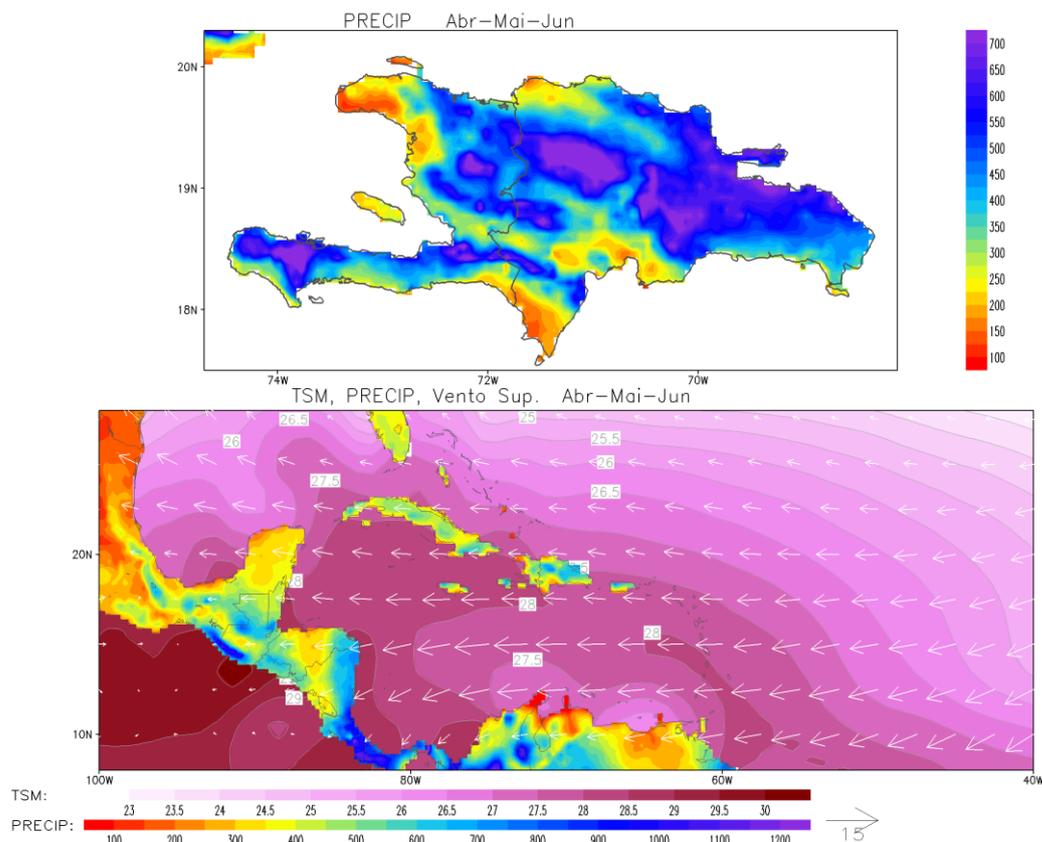
Figura 5- Trimestre Jan-Fev-Mar da precipitação (PRECIP) na Antilha e da TSM no Atlântico e Pacífico, precipitação nos continentes e de vento próximo a superfície. Média 2004 a 2019. Precip (mm), TSM (°C), vento (m/s).



Fonte: Do autor.

A Figura 6 evidencia que o regime chuvoso de Abr-Mai-Jun configura-se com precipitação acima de 400 mm sobre a maior parte da Antilha. Algumas regiões do Haiti (setor extremo oeste e centro-norte) e a maior parte da REPDOM apresentam máximos pluviométricos sazonais entre 500 e 700 mm. Os campos de TSM mostram áreas entre 27 °C e 28 °C próxima a Antilha e os ventos alísios persistem zonalmente de leste sobre o Atlântico e mar do Caribe. A precipitação continental indica aumento significativo nos países da América central.

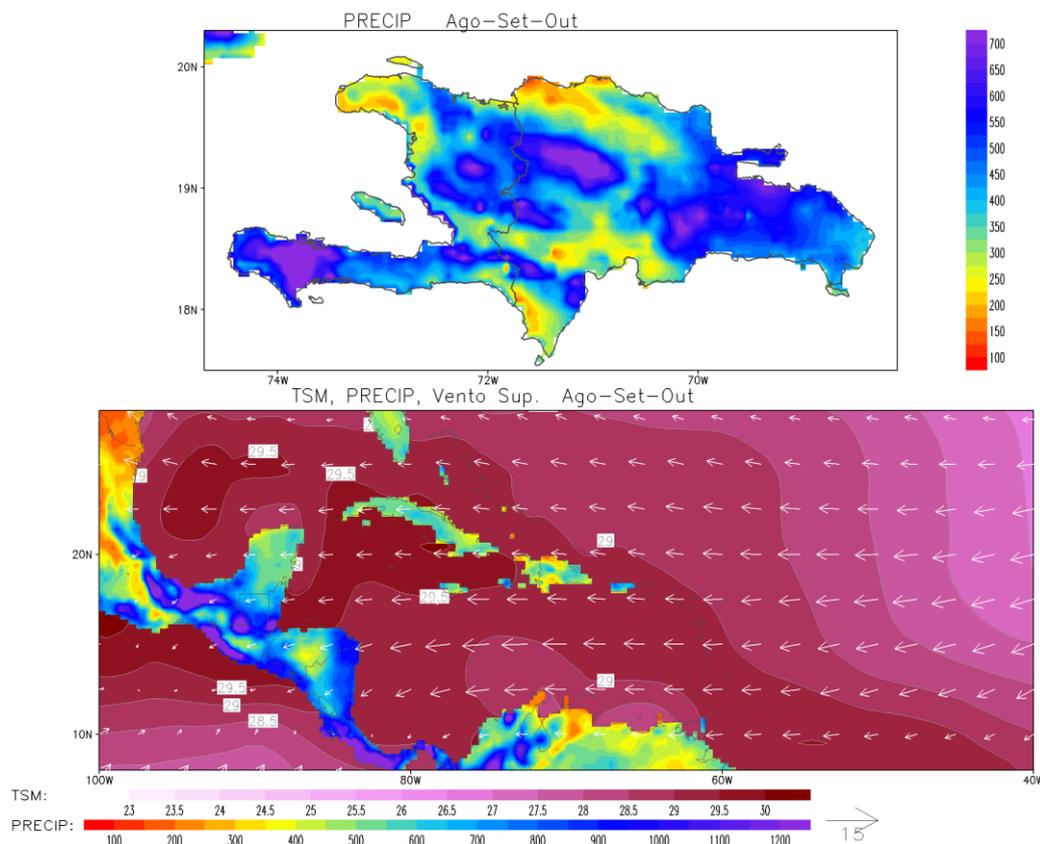
Figura 6- Trimestre Abr-Mai-Jun da precipitação (PRECIP) na Antilha e da TSM no Atlântico e Pacífico, precipitação nos continentes e de vento próximo a superfície. Média 2004 a 2019. Precip (mm), TSM (°C), vento (m/s).



Fonte: Do autor.

Na climatologia do regime chuvoso de Ago-Set-Out (Figura 7), destaca-se o aumento significativo do campo de TSM sobre o mar do Caribe, com uma grande área oceânica apresentando valores de 29°C e ventos alísios mantendo-se de leste em toda região. A distribuição espacial de precipitação na Antilha mostra várias áreas do Haiti e REPDOM contendo valores entre 400 e 700 mm. O mapa de precipitação nos continentes é consistente em indicar a intensificação do regime chuvoso na maior parte dos países da América central e região Caribenha.

Figura 7- Trimestre Ago-Set-Out da precipitação (PRECIP) na Antilha e da TSM no Atlântico e Pacífico, precipitação nos continentes e de vento próximo a superfície. Média 2004 a 2019. Precip (mm), TSM (°C), vento (m/s).



Fonte: Do autor.

Os resultados mencionados acima apresentam consistência científica com alguns artigos prévios da climatologia do Caribe, conforme a seguir.

A precipitação no Caribe segue uma bimodalidade, conforme reportado por Giannini (2000), caracterizada por dois picos ao longo do ano. Chen e Taylor (2002) e Taylor et al. (2002) indicaram que as chuvas iniciam em abril e se estendem até julho com o primeiro pico em maio; o segundo modo é chamado de estação chuvosa tardia e estende-se de agosto a novembro com pico em outubro. Estes resultados são consistentes com as análises observacionais de Moron et al. (2015), os quais também apontaram que a variabilidade pluviométrica regional sofre efeitos da topografia. Gamble e Curtis (2008) reportaram que a estação das chuvas de abril a novembro associa-se com as ocorrências dos sistemas meteorológicos tropicais (ciclones, furacões e a atuação da ZCIT). O primeiro pico de precipitação em abril-junho está relacionado ao aquecimento do TSM (com um aumento de temperaturas acima

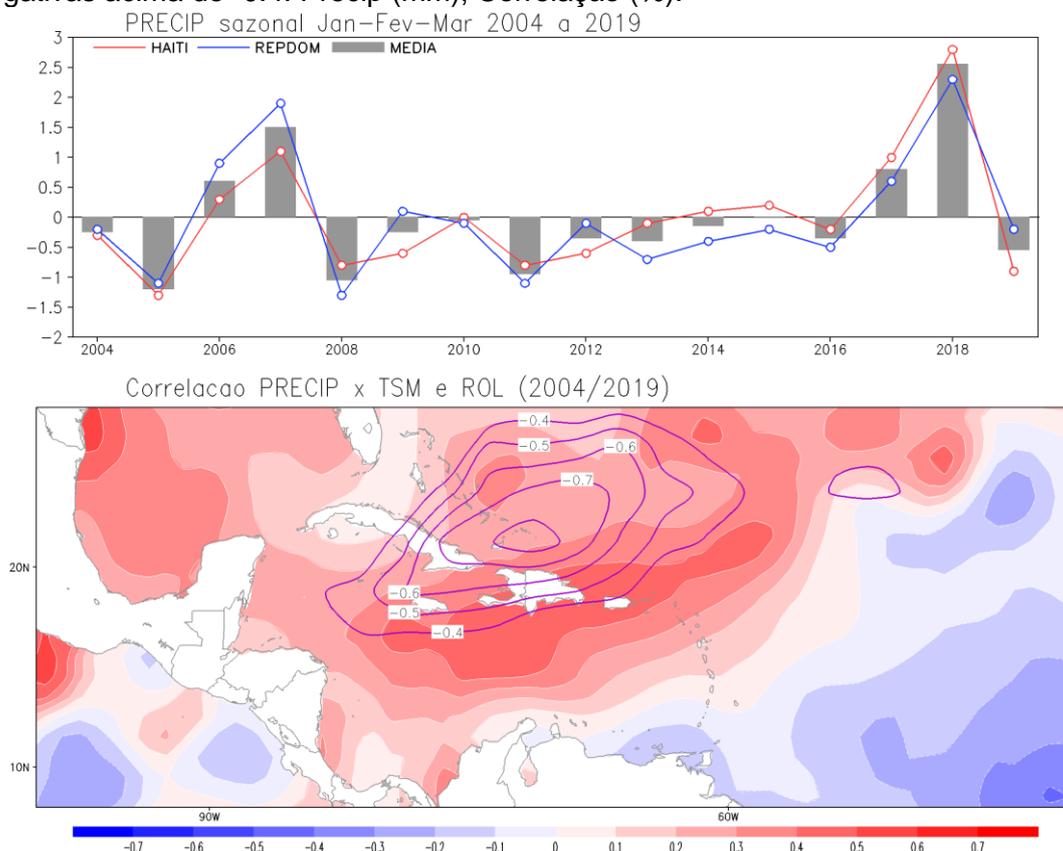
de 27°C em torno de abril), e a tendência dos ventos de baixo nível mudarem gradualmente de leste para noroeste no inverno boreal de leste para sudeste no final da primavera boreal (Magana et al. 1999; Gamble e Curtis 2008).

A seguir, apresentam-se as análises da variabilidade interanual dos regimes sazonais da Antilha Hispaniola, bem como apresenta-se a investigação das correlações da precipitação com os padrões de TSM e ROL (nebulosidade tropical) no mar do Caribe.

As Figuras 8, 9 e 10 mostram as séries temporais (2004 a 2019) da precipitação nos três regimes sazonais do Haiti e REPDOM e também a média de ambos, bem como os mapas espaciais das correlações entre as séries de precipitação sazonal e a TSM (áreas coloridas) e ROL (linhas lilás) sobre o Atlântico e mar do Caribe.

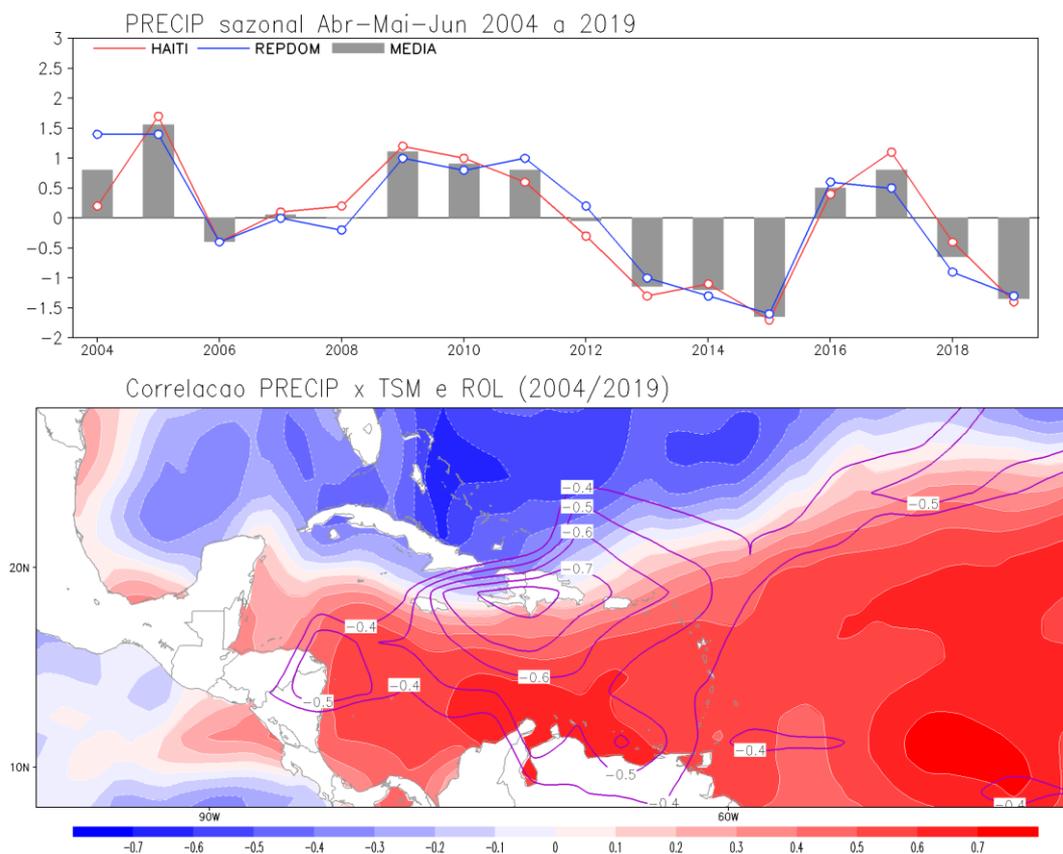
A Figura 8 mostra os resultados para o regime seco de Jan-Fev-Mar. Nas séries temporais (Fig. 8, gráfico superior) da precipitação no Haiti e REPDOM a variabilidade interanual foi relativamente alta entre 2004 a 2009, com alternância de valores negativos e positivos. De 2011 a 2014 nota-se predominância de valores negativos de precipitação que se repete em 2016. O maior desvio positivo de precipitação ocorre em 2018. Analisando os padrões espaciais das correlações (Fig. 8, mapa inferior), nota-se a dominância de correlações positivas de TSM, com valores acima de 0,6 e 0,7, no mar do Caribe e uma área contendo correlações negativas de ROL englobando a Antilha de Haiti e REPDOM e também o sul de Cuba. Assim, a relação entre precipitação e TSM é direta, ou seja, anos com pluviometria abaixo da média (negativa) se associa com TSM anormalmente negativa (água oceânica mais fria), enquanto anos com precipitação acima da média (positiva) se relaciona com TSM anormalmente positiva (águas oceânicas mais quentes). A correlação negativa com anomalias de ROL, valores acima de -0,6 e 0,7 indica que a precipitação é ocasionada por áreas com nebulosidade se formando entre a Antilha e a região de Cuba.

Figura 8- Séries temporais da precipitação (PRECIP) sazonal em Jan-Fev-Mar no Haiti e na REPDOM de 2004 a 2019. Correlações entre a precipitação média (PRECIP MED) e a grade de TSM e ROL. Áreas em azul/vermelho indicam correlações negativas/positivas de TSM. Para a ROL plotaram-se somente as correlações negativas acima de -0.4. Precip (mm), Correlação (%).



Os resultados para o regime chuvoso de Abr-Mai-Jun são mostrados na Figura 9. Nas séries temporais (Fig. 9, gráfico superior) da precipitação no Haiti e REPDOM verifica-se uma variabilidade interanual apresentando alternância a cada período de 2 a 3 anos, ou seja, observam-se anos com precipitação acima da média (desvios positivos em 2004/2005, 2009 a 2011, 2016 e 2017) e anos com precipitação abaixo da média (valores negativos em 2006, 2013 a 2015 e 2018 e 2019). No mapa de correlação da precipitação com as anomalias de TSM destaca-se um padrão de dipolo com valores negativos na porção mais ao norte e positivos ao sul, sendo que a gradiente (zona de transição) mais intensa ocorre sobre a Antilha de Haiti e REPDOM. A configuração da correlação negativa com anomalias de ROL indica a atuação de uma área de nebulosidade alongada se posicionando exatamente na região de transição de anomalias de TSM.

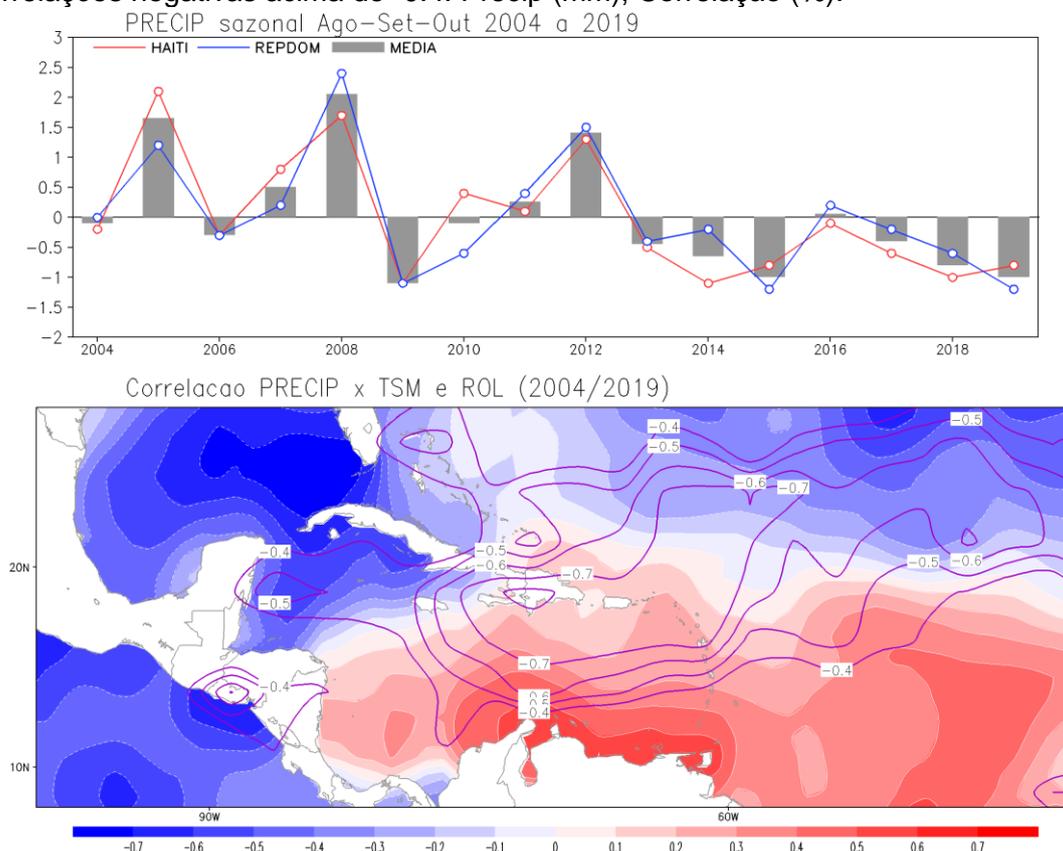
Figura 9- Séries temporais da precipitação (PRECIP) sazonal em Abr-Mai-Jun no Haiti e na REPDOM de 2004 a 2019. Correlações entre a precipitação média (PRECIP MED) e a grade de anomalias de TSM e ROL. Áreas em azul/vermelho indicam correlações negativas/positivas de TSM. Para ROL plotaram-se somente as correlações negativas acima de -0.4. Precip (mm), Correlação (%).



Fonte: Do autor

Para o segundo regime chuvoso anual de Ago-Set-Out é ilustrado na Figura 10. Nas séries temporais de precipitação destacam-se os anos com anomalias positivas (extremos de chuva acima da média) em 2005, 2008 e 2012. A partir de 2013 até 2019 evidencia-se a predominância de anos com precipitação abaixo da média. A correlação da série temporal de precipitação sazonal com as anomalias de TSM mostra um padrão semelhante ao regime chuvoso anterior, exibindo uma configuração espacial contendo correlações negativas na porção mais ao norte e correlações negativas no mar do Caribe ao sul da Antilha Hispaniola. Sobre a região do gradiente nota-se uma grande área de correlação negativa com as anomalias de ROL, indicando a atuação da banda de nebulosidade associada à ZCIT.

Figura 10- Séries temporais da precipitação (PRECIP) sazonal em Ago-Set-Out no Haiti e na REPDOM de 2004 a 2019. Correlações entre a precipitação média (PRECIP MED) e a grade de anomalias de TSM e ROL. Áreas em azul/vermelho indicam correlações negativas/positivas de TSM. Para a ROL plotaram-se somente as correlações negativas acima de -0.4. Precip (mm), Correlação (%).

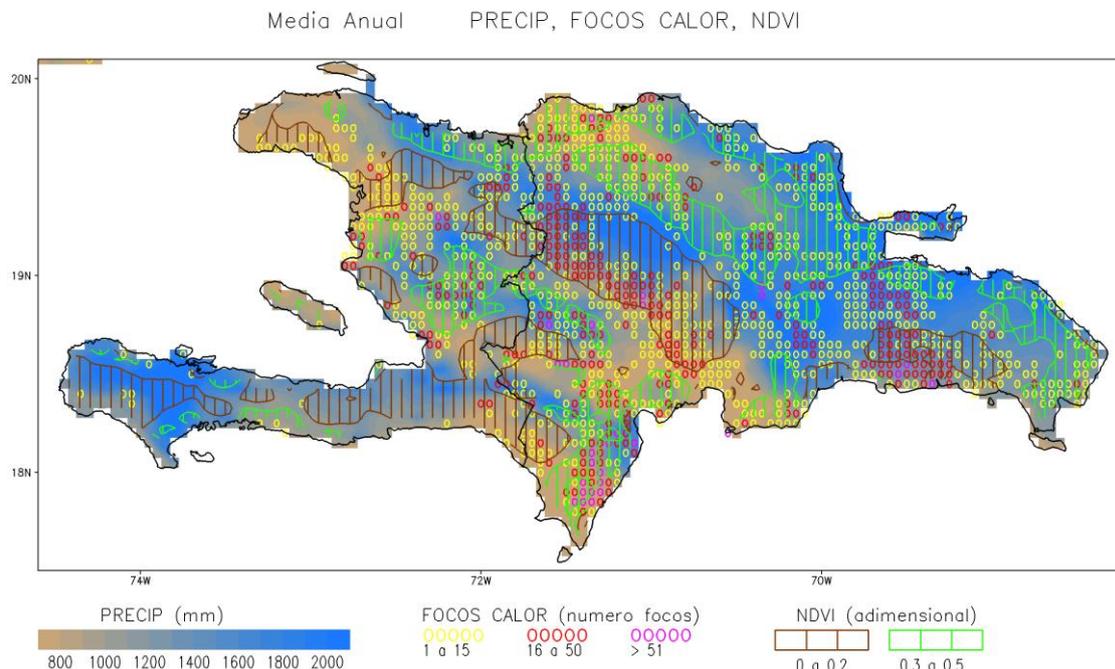


Em concordância com os resultados reportados acima sobre as correlações entre os regimes pluviométricos e os padrões de TSM e ROL, Wang e Enfield (2001) também mostraram que há uma variação interanual considerável nas áreas de aquecimento e resfriamento sobre o Oceano Atlântico no mar do Caribe, indicando que há uma correlação positiva durante o período seco e o início do período chuvoso e parcialmente negativa durante o segundo período chuvoso.

4.3 Relações entre Precipitação, Focos de calor e NDVI

A Figura 11 mostra os padrões espaciais da média anual de precipitação, focos de queimadas e NDVI sobre a Antilha Hispaniola correspondente ao período de 2004 a 2019. Em geral, embora a média anual da precipitação destaque grandes áreas chuvosas (áreas em azul) no sul, centro e norte do HAITI e no centro, sul e toda faixa litorânea da REPDOM, verificam-se regiões contendo valores mais altos de NDVI (indicativo de vegetação mais abundante) principalmente ao longo da faixa leste da REPDOM e no centro e norte do HAITI. Regiões com NDVI mais baixo (vegetação menos abundante) se observam no sul do HAITI e centro-oeste e sul da REPDOM. Os focos de calor ocorrem primordialmente no centro-norte do HAITI e se espalham na maior parte da REPDOM, com maior intensidade na porção central e sul deste país.

Figura 11- Padrões espaciais da média anual da precipitação (contornos coloridos), focos de calor (símbolos 0) e NDVI (isolinhas em marrom e verde) sobre a antilha Hispaniola. Precip (mm), NDVI (adimensional) e QUEIMADAS (número de focos). Período 2004 a 2019.

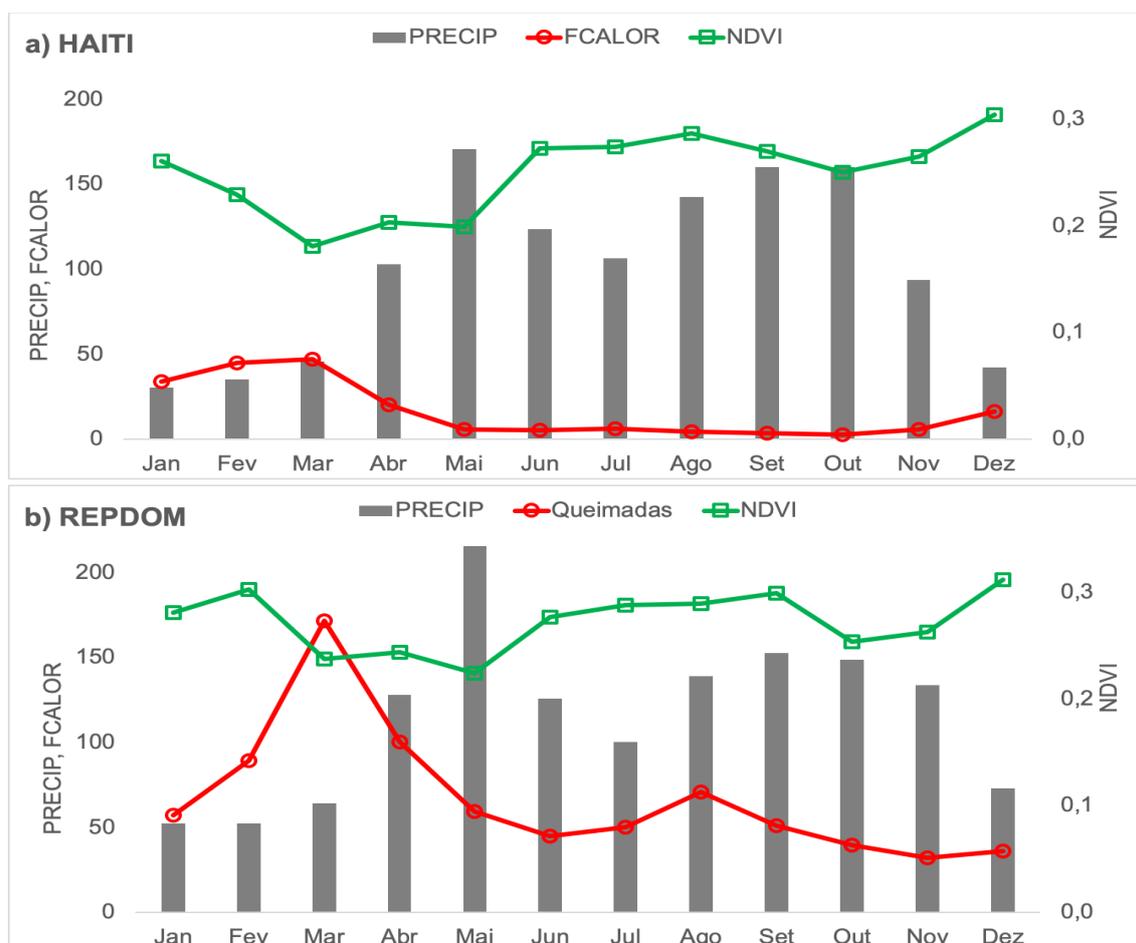


Fonte: Do autor

A Figura 12 mostra o ciclo anual com as médias mensais (janeiro a dezembro) da precipitação, focos de calor e NDVI considerando as médias espaciais englobando o HAITI e REPDOM no período 2004 a 2018. As médias

de precipitação mostram como já destacadas nas seções anteriores, a existência do padrão bimodal com dois máximos de precipitação em maio e setembro/outubro em ambos os países. Destacam-se os meses com precipitação mínima nos meses de janeiro a março, os quais são coincidentes com a ocorrência dos máximos de focos de calor com valores em torno de 50 no HAITI e entre 50 e 180 na REPDOM. Nos demais meses (exceto em agosto na REPDOM em que se nota um pico secundário), os focos de calor apresentam redução significativa nos dois países. O NDVI não apresenta variação anual pronunciada, com os valores menores em torno de 0,2 nos meses de março a maio. Nos outros meses o NDVI oscila entre 0,2 e 0,3.

Figura 12- Médias mensais da precipitação, focos de calor e NDVI considerando as médias espaciais englobando o HAITI e REPDOM. Precip (mm), NDVI (adimensional) e Focos de calor (número de focos). Período - 2004 a 2019.



Fonte: Do autor.

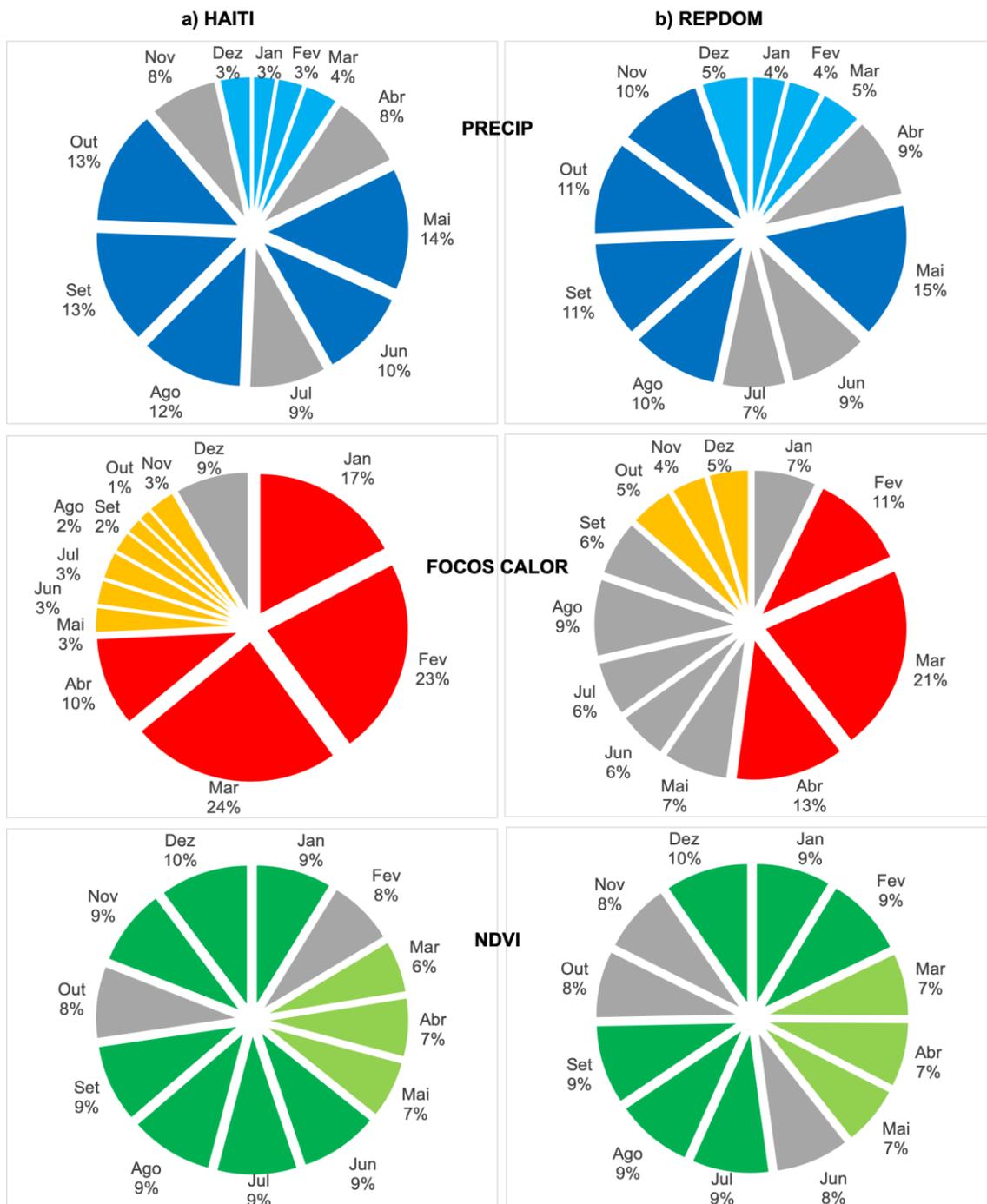
A Figura 13 complementa a análise do ciclo anual com os percentuais (valores relativos ao total anual) mensais de precipitação, focos de calor e

NDVI considerando as médias espaciais em HAITI e REPDOM. Nestas figuras, distingue-se claramente a progressão dos regimes sazonais sobre a Antilha.

O regime seco sobre HAITI e REPDOM configura-se nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março (percentuais abaixo de 5%, destaque em azul claro na figura), seguidos da maior frequência de focos de calor nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril (percentuais entre 10% e 21%, destaque em vermelho na figura) e índices de vegetação (NDVI baixos) indicativos de vegetação menos expressiva nos meses de março, abril e maio (percentuais abaixo de 7%, destaque em verde claro na figura).

O comportamento do regime chuvoso sobre HAITI e REPDOM se sobressai nos meses de maio, junho e depois em agosto, setembro e outubro com valores de precipitação entre 11 e 15% (destaque em azul escuro na figura), cujo período é coincidente com as menores taxas de focos de calor nos meses de maio a novembro (percentuais abaixo de 5%, destaque na cor laranja na figura), acompanhados com os maiores valores de NDVI (percentuais entre 9 e 10%) que indicam vegetação mais abundante (destaque em verde escuro na figura).

Figura 13- Percentuais mensais da precipitação, focos de calor e NDVI para a) HAITI e b) REPDOM. Período 2004 a 2019.



Fonte: Do autor.

A análise quantitativa das relações entre a precipitação e os focos de calor, bem como da precipitação e os índices de vegetação foram avaliadas através das correlações simultâneas e defasadas. A correlação de Lag0 considera as séries variando simultaneamente (Jan x Jan). As correlações com

defasagem Lag+1 considera a variação Jan x Fev (um mês adiantado), Lag+2 de Jan x Mar (dois meses adiantados) e assim por diante, até o Lag+5 (Jan x Jun (cinco meses adiantados)). Tais correlações visam estabelecer a resposta do clima, quantidade de precipitação mensal, na ocorrência de focos de calor e dos índices de vegetação.

Os resultados das correlações encontram-se na Tabela 2. O sinal negativo da correlação entre precipitação e focos de calor denota a relação inversa: precipitação mais intensa (fraca) implica em focos de calor reduzidos (amplificados). Os valores significantes da correlação entre precipitação e focos de calor em HAITI foram encontrados para o Lag0 e Lag+1 com -0,53 e -0,6, respectivamente. Para REPDOM, a Tabela 2 mostra que as correlações significantes foram obtidas nos Lag+1 e Lag+2 com valores de -0,45 e -0,4, respectivamente. Portanto, a resposta do clima (precipitação) na incidência de focos de calor (queimadas) possui uma defasagem de 1 mês na região de HAITI e de 1 a 2 meses na região da REPDOM.

Para a correlação entre precipitação e NDVI, cujo resultado a ser considerado refere-se aos valores positivos (relação direta de precipitação maior/menor indicando índices de vegetação mais/menos abundante), a Tabela 2 indica a correlação de 0,33 para Lag+3 em HAITI e de 0,22 para Lag+3 na REPDOM. Ou seja, as correlações entre clima e vegetação indicam uma defasagem em torno de 3 meses.

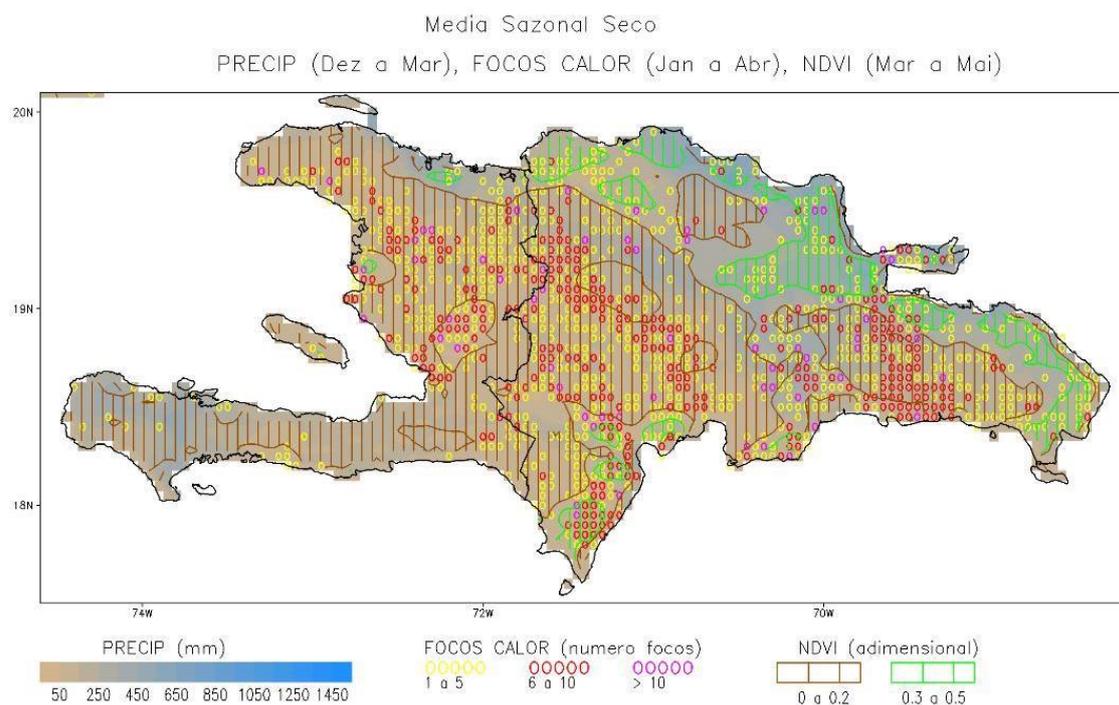
Tabela 2- Correlações entre Precipitação x Focos de Calor e Precipitação x NDVI em HAITI e REPDOM, considerando as defasagens mensais de Lag0, Lag+1, Lag+2, Lag+3, Lag+4 e Lag+5. Período 2004 a 2019.

		Lag0 (Jan x Jan)	Lag+1 (Jan x Fev)	Lag+2 (Jan x Mar)	Lag+3 (Jan x Abr)	Lag+4 (Jan x Mai)	Lag+5 (Jan x Jun)
HAITI	FCALOR HAITI	-0,53	-0,60	-0,40	-0,06	0,29	0,44
	NDVI HAITI	-0,12	0,29	0,26	0,33	0,08	-0,13
REPDOM	FCALOR REPDOM	-0,32	-0,45	-0,40	-0,21	0,00	0,12
	NDVI REPDOM	-0,26	0,12	0,02	0,22	0,14	0,02

Fonte: Do autor.

Os padrões espaciais do regime seco sobre a Antilha são ilustrados na Figura 14. A precipitação acumulada nos meses de dezembro, janeiro até março mostram os valores reduzidos abaixo de 250 mm atingindo grade parte do HAITI e REPDOM, exceto a faixa leste litorânea deste país. Nesta última região, o NDVI exibe valores acima de 0,3, indicando vegetação mais abundante. Nas porções sul, central e oeste da REPDOM verificam-se NDVI abaixo de 0,2, indicando a presença de vegetação menos abundante. Estes valores de NDVI baixos também ocorrem na maior parte do HAITI. Assim, as condições de clima seco (precipitação e NDVI reduzidos) explicam a ocorrência de focos de calor espalhados por sobre todo o território da Antilha, com valores mais intensos na porção centro-norte do HAITI e setores oeste e sul da REPDOM.

Figura 14- Padrões espaciais das médias do regime seco para precipitação (contornos coloridos), focos de calor (símbolos 0) e NDVI (isolinhas em marrom e verde) sobre a antilha Hispaniola. Precip (mm), NDVI (adimensional) e QUEIMADAS (número de focos). Período 2004 a 2019.

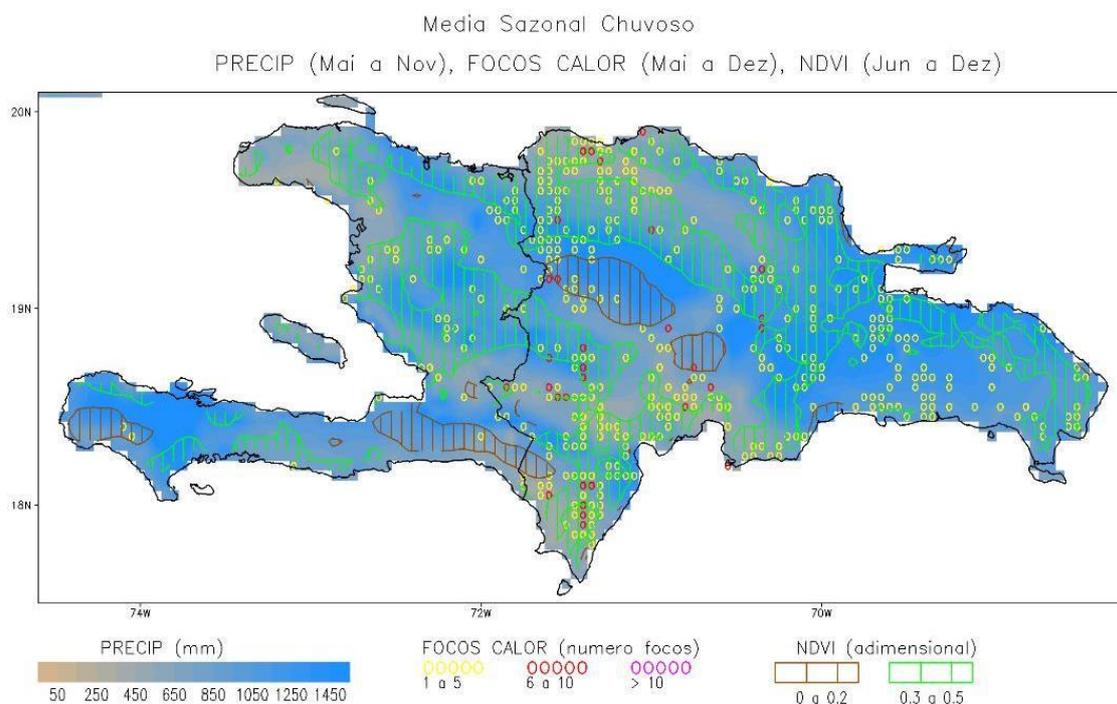


Fonte: Do autor.

A Figura 15 mostra os padrões espaciais do regime chuvoso sobre a Antilha de Haiti e REPDOM. Verificam-se máximos pluviométricos acima de 1050 mm sobre a maior parte do HAITI e REPDOM, acompanhados de NDVI

acima de 0,3, cujos valores indicam a presença de vegetação abundante. Pequenas áreas contendo valores de NDVI abaixo de 0,2 (indicativo de vegetação menos abundante) são observadas no sudeste do HAITI e no centro-oeste da REPDOM. Apesar das condições de clima mais chuvoso e vegetação abundante, ainda se evidenciam diversos pontos isolados e áreas com ocorrência de focos de calor, especialmente na porção centro-norte do HAITI e nos setores norte, centro, sul e sudeste da REPDOM.

Figura 15- Padrões espaciais das médias do regime chuvoso para precipitação (contornos coloridos), focos de calor (símbolos 0) e NDVI (isolinhas em marrom e verde) sobre a antilha Hispaniola. Precip (mm), NDVI (adimensional) e QUEIMADAS (número de focos). Período 2004 a 2019.



Fonte: Do autor.

Jong et al. (2013) afirmaram que a variabilidade climática é um dos principais impulsionadores da dinâmica da vegetação. Bowman et al. (2009) e Armenteras-Pascual et al. (2011) afirmaram que a variabilidade interanual do clima tem um certo impacto na ocorrência de incêndios de ano para ano e pode evoluir ao longo do tempo com as ocorrências climáticas.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho apresentou-se uma contribuição aos estudos climatológicos particularmente da Antilha Hispaniola do mar do Caribe, formada pelos países da República do Haiti e pela República Dominicana.

Baseado nas análises da precipitação da base CHIRPS com alta resolução espacial constatou-se um padrão climático bimodal no Haiti e República Dominicana com o primeiro pico pluviométrico ocorrendo em maio e o segundo em setembro/outubro. O regime seco acontece nos meses de janeiro a março.

Os padrões espaciais dos mapas climatológicos e as análises de correlações indicaram que os regimes sazonais da Antilha são influenciados diretamente pela configuração da TSM e dos ventos alísios no mar do Caribe sobre o Oceano Atlântico, sendo que o máximo principal do segundo semestre é explicado pela presença de TSM mais quentes (acima de 29°C) e da banda de nebulosidade associada á atuação ZCIT durante sua posição mais boreal.

A avaliação quantitativa das correlações (simultâneas e defasadas) entre os dados de precipitação e índices de vegetação e de focos de calor, bem como a análise integrada do mapeamento dessas variáveis sobre o território da ilha Hispaniola, permitiram estabelecer relações consistentes nas dinâmicas de clima, vegetação e focos de calor. República Dominicana apresenta números muito maiores de focos de calor quando comparados aos do Haiti, sendo que as maiores frequências dos eventos se processam janeiro até abril, quando predomina o regime seco sobre a Antilha. Inversamente, durante o pico pluviométrico do segundo semestre, os focos de calor são mínimos e se concentram nos meses de agosto a dezembro. Quanto aos índices de vegetação há certa relação direta com o regime climático, com valores de NDVI maiores nas regiões espaciais contendo máximos de precipitação e vice-versa.

Nossa pesquisa propondo a estudos futuros uma análise de precipitação intrassazonal na área de estudo nos períodos chuvosos e secos da Antilha Hispaniola. Além de verificar também possíveis relações interanuais da precipitação nesses períodos com a essa variação de modos de baixa frequência no Atlântico como Oscilação Meridional do Atlântico (AMO) e a Oscilação do Atlântico Norte (OAN). Sendo que, é necessário ampliar a

investigação para esclarecer e quantificar com precisão os impactos de vários fatores naturais e antropogênicos nas mudanças da vegetação dessa ilha. A diversidade de estudos realizados na região do Caribe pode fomentar o melhor entendimento da dinâmica climática e as ocorrências de fogo na região.

REFERÊNCIAS

ARMENTERAS-PASCUAL, D.; RETANA-ALUMBREROS, J.; MOLOWNY-HORAS, R.; ROMAN-CUESTA, R. M.; GONZALEZ-ALONSO, F.; MORALES-RIVAS, M. Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, p. 279-289, 2011.

BELLANDE, A. *Haiti déforestée, paysages remodelés*. Montréal : CIDIHCA, 2015, 384 p.

BOWMAN, D. M.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; PYNE, S. J. Fires in the earth system. *Science*, v. 324, p. 481-484, 2009.

CAFFREY, M. A.; HORN, S. P. Long-Term Fire Trends in Hispaniola and Puerto Rico from Sedimentary Charcoal: A Comparison of Three Records. *The Professional Geographer*, v. 67, n. 2, p. 229-241, 2015.

CHAUVIN F.; DEGRACE J. N.; KAPIKIAN E.; MONTOUT C.; SOUBEYROUX, J. M. Une saison cyclonique 2017 particulièrement dévastatrice pour les Antilles. *La Météorologie*, n. 99, p. 3-4, 2017.

CHEN, A. A.; TAYLOR, M. A. Investigating the link between early Caribbean rainfall and the El Niño + 1 year. *International Journal of Climatology*, v. 22, p. 87-106, 2002.

DIRENA. *Cobertura de la Tierra (1:500,000)*. Santo Domingo: Departamento de Inventario de Recursos Naturales, Republica Dominicana, 1984.

DOLISCA, F.; McDANIEL, J.M.; TEETER, L.D.; JOLLY, C.M. Land tenure, population pressure, and deforestation in Haiti: The case of Forêt des Pins Reserve. *Journal of Forest Economics*, v. 13, n. 4, 5, p. 277-289, 2007.

Eric, Vermote. NOAA CDR Program. NOAA Climate Data Record (CDR) of AVHRR Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NOAA National Centers for Environmental Information, Version 5, 2019. <https://doi.org/10.7289/V5ZG6QH9>.

FRANKEMA, E.; MASÉ, A. An Island drifting apart. Why Haiti is mired in poverty while the Dominican Republic forges ahead. *Journal of International Development*, v.26, n.1, p. 128–148, 2014.

FUNK, C. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. *Science Data*, v. 2, p. 150066, 2015.

GAMBLE, Douglas W.; PARNELL, Darren B.; CURTIS, Scott. Spatial variability of the Caribbean mid-summer drought and relation to north Atlantic high circulation. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 28, n. 3, p. 343-350, 2008.

GFDRR. Building resilience to disasters. *Annual Report*. 2011, Washington: Global facility for disaster reduction and recovery, 2011, 86 p.

GIANNINI, A.; KUSHNIR, Y.; CANE, M. A. Interannual Variability of Caribbean Rainfall, ENSO, and the Atlantic Ocean. *Journal Climate*, v. 13, p. 297-311, 2000.

GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; JUSTICE, C.O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, v. 178, p. 31-41, 2016.

HORN, SALLY P. Incendios en los Pinares de las Zonas Montañosas de la República Dominicana: La Visión de Fondo. (Fire in Highland Pine Forests of the Dominican Republic – The Long View.) *Revista Verdor* [Academy of Sciences of the Dominican Republic], v.8, n.2, p. 102-109, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. *Banco de Dados de Queimadas*. 2016.

LEWSEY, C.; CID, G.; KRUSE, E. Assessing climate change impacts on coastal infrastructure in the Eastern Caribbean. *Mar Policy*, v. 28, p. 393-409, 2004.

LIEBMANN B.; SMITH, C. A. Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.77, p. 1275-1277, 1996.

MAGANA, V.; AMADOR, J. A.; MEDINA, S. The midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, v. 12, p. 1577-1588, 1999.

MORON, V.; FRELAT, R.; JEAN-JEUNE, P. K.; GAUCHEREL, C. Interannual and intra-annual variability of rainfall in Haiti (1905-2005). *Climate Dynamics*, v. 45, p. 915-932, 2015.

PNUE. *Haïti - République Dominicaine : défis environnementaux dans la zone frontalière*. 2013. 155 p.

REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M.; LIU, C.; CHELTON, D. B.; CASEY, K. S.; SCHLAX, M. G. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. *Journal Climate*, v. 20, p. 5473-5496, 2007.

ROBBINS, A.M.J. *Global Forest Resources Assessment 2005 - report on fires in the Caribbean and Mesoamerican regions*. FAO, 2006, 42 p. (Fire Management Working Paper 12).

ROBBINS, A.M.J.; ECKELMANN, CLAUS-MARTIN; QUINONES MAYA. Forest Fires in the Insular Caribbean, *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37 (7), p. 528-534, 2008.

SAMBROOK, Richard, A.; PIGOZZI, Bruce W.; THOMAS, Robert N. Population pressure, deforestation, and land degradation: a case study from the Dominican Republic. *The Professional Geographer*, v.51, n.1, p. 25-40, 1999. DOI: 10.1111/0033-0124.00142.

TAYLOR, M. A.; ENFIELD, D. B.; CHEN, A. A. Influence of the tropical Atlantic versus the tropical Pacific on Caribbean rainfall. *J. Geophys. Res.*, v. 107, n. C9, p. 10-1-10-14, 3127, 2002.

TAYLOR, M. A.; CENTELLA, A.; CHARLERY, J.; BEZANILLA, A.; CAMPBELL, J.; BORRAJERO, I.; STEPHENSON, T.; NURMOHAMED, R. The precis caribbean story: lessons and legacies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 94, p. 1065–1073, 2013. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00235.1>.

TAYLOR, M. A.; STEPHENSON, K. A. Impacts of climate change on sea temperature in the coastal and marine environments of caribbean small island developing states (SIDS). *Caribbean Marine Climate Change Report Card: Science Review*, p. 23-30, 2017.

WANG, C.; ENFIELD, D. B. The tropical western hemisphere warm pool, *Geophys. Res. Lett.*, v. 28, p. 1635-1638, 2001.

SITES INTERNET

FUNK, C. *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. *Science Data*, v. 2, p. 150066, 2015. Disponível em: <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/>. Acesso em Março 2020.

Eric, Vermote. NOAA CDR Program. NOAA Climate Data Record (CDR) of AVHRR Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). NOAA National Centers for Environmental Information, Version 5, 2019. <https://doi.org/10.7289/V5ZG6QH9>.

Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/data/>. Acesso em Março 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. *Banco de Dados de Queimadas*. 2016. Disponível em: www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas. Acesso em Abril 2020.