



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão
Divisão de Fomento a Pesquisa e Desenvolvimento

OFÍCIO Nº 1569/2023/INPE

São José dos Campos, 06 de julho de 2023.

RETIFICAÇÃO CHAMADA 02/2023

EDITAL 76/2023/SEI-INPE

PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL - PCI

Prezados,

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) torna pública a presente retificação do anexo I dos subprojetos 1.1, 7.1, 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5, 10.1, 10.2 e 10.3 da Chamada Pública 02/2023, Edital Nº 76/2023.

(assinado eletronicamente)

Monica Elizabeth Rocha de Oliveira
Diretora Substituta



Documento assinado eletronicamente por **Monica Elizabeth Rocha de Oliveira, Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais substituto**, em 07/07/2023, às 11:18 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.mcti.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **11194753** e o código CRC **130CD559**.

Em caso de resposta a este Ofício, fazer referência expressa a: Ofício nº 1569/2023/INPE - Processo nº 01340.005391/2023-65 - Nº SEI: 11194753



Anexo I do Edital Nº 76/2023

Retificação dos subprojetos 1.1, 7.1, 9.1, 9.2, 9.3,
9.4, 9.5, 10.1, 10.2 e 10.3



Projeto 1: PESQUISA E DESENVOLVIMENTOS COM BASE EM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADOS À CARACTERIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE ECOSISTEMAS DO TERRITÓRIO NACIONAL

Subprojeto 1.1: Modelagem regional acoplada oceano-atmosfera, e os efeitos da mesoescala oceânica na camada limite atmosférica marinha e implicações no Clima do Brasil

1.1.1 – Introdução

Estudos têm mostrado uma estreita correlação entre as estruturas termais associadas à mesoescala oceânica e a resposta da atmosfera sobrejacente, seja ela na camada limite atmosférica marinha (CLAM), ou acima desta, na atmosfera livre (e.g. FRENGER et al. (2013), Pezzi et al. (2021)). De modo geral, é observada uma correlação positiva entre as anomalias da TSM, temperatura do ar em baixos níveis da atmosfera, ventos em superfície, fluxos de calor sensível e latente na superfície e estabilidade da CLAM.

A região do Oceano Atlântico Sudoeste, é marcada por uma grande atividade de mesoescala oceânica gerada pelo encontro de águas quentes e salinas da Corrente do Brasil (CB) com águas frias e menos salinas da Corrente das Malvinas (CM), região conhecida como Confluência Brasil Malvinas (CBM), e pela presença das frentes oceânicas subtropical e subantártica (PEZZI et al., 2016; LEYBA et al., 2017). Nestas regiões de intenso gradiente termal e através de principalmente instabilidade baroclínica, é observada a formação de vórtices e meandros que são observados durante todo o ano (LEYBA et al., 2017). Porém, a atividade de mesoescala oceânica não se restringe somente às latitudes médias, como no oceano Atlântico Sudoeste, mas pode ser observada em outras regiões como no oceano Austral, onde foi mostrado que a presença de vórtices de mesoescala modificam a precipitação (FRENGER et al., 2013).

Além do acoplamento termodinâmico entre o oceano e a atmosfera, o acoplamento dinâmico entre estes meios, considerando as correntes oceânicas de superfície e o vento nos baixos níveis da atmosfera têm sido estudados devido à sua influência em ambos os meios (RENAULT et al., 2019). Modelos acoplados oceano-atmosfera tem sido fundamentais no estudo de ambos os acoplamentos em diversas regiões do oceano global (e.g. Renault et al. (2019) e vários outros autores).

Dessa forma, buscando ampliar o conhecimento sobre a influência da mesoescala oceânica na atmosfera, o modelo regional acoplado *Coupled Ocean Atmosphere Wave Sediment Transport* (COAWST v3.4; Warner et al. (2010)) será utilizado neste estudo. Além disso, um filtro espacial bidimensional *Locally Weighted Smoothing* (LOESS) será empregado para filtrar a alta frequência termal da superfície oceânica, associada à mesoescala oceânica. O acoplamento vento-corrente no cálculo da tensão de cisalhamento do vento também poderá considerado nas simulações numéricas.

Este subprojeto propõe ações necessárias para atingir as atividades **19 a 23** do item **1.4 (Atividades de Execução)** e os **objetivos específicos 4** principalmente, e o **3** do Projeto 1: **PESQUISA E DESENVOLVIMENTOS COM BASE EM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADOS À CARACTERIZAÇÃO E MONITORAMENTO DE ECOSISTEMAS DO TERRITÓRIO NACIONAL** do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 400077/2022-1, disponível na página do INPE.

1.1.2 - Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é, definir a influência da mesoescala oceânica, presente no oceano Atlântico Sudoeste na Camada Limite Atmosférica Marinha sobrejacente e e implicações no Clima do Brasil. Para alcançá-lo, os seguintes objetivos específicos são propostos:

1. Revisar e entender o estado da arte sobre a influência da mesoescala oceânica na atmosfera, com foco na região do Oceano Atlântico Sudoeste.



2. Realizar e analisar simulações numéricas com um modelo regional acoplado utilizando as componentes atmosférica, oceânica e de gelo marinho na área de estudo.
3. Implementar um filtro espacial e determinar o seu melhor ajuste para remover a alta frequência termal da superfície oceânica, que represente as feições de mesoescala oceânica presentes na região.

1.1.3 – Insumos

1.1.3.1 – Custeio

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
	Diárias: R\$ 0.000 Passagens: R\$ 0.000	R\$ 0.000

1.1.3.2 – Bolsas

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
1.1.1	Formação em Meteorologia, Oceanografia ou áreas afins. Profissional com 7 (sete) anos de experiência em projetos científicos, tecnológicos ou de inovação após a obtenção do diploma de nível superior; ou com título de doutor; ou ainda, com grau de mestre há, no mínimo, 4 (quatro) anos.	Experiência comprovada em modelagem numérica regional acoplada e desenvolvimento computacional	1-2-3	D-B	4	1

1.1.4 - Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out/23	Nov/23	Dez/23	Jan/24
1. Revisão bibliográfica acerca da influência da mesoescala oceânica na atmosfera	1	Monografia introdutória para o relatório final	X	X		
2. Testes com as componentes oceânica e atmosférica modelo regional acoplado	1, 2	Modelo numericamente estável e realizando os experimentos	X	X	X	
3. Investigar o resultado hidrodinâmico e termodinâmico das componentes oceânica e atmosférica do modelo regional acoplado	1, 2	Análise dos resultados numéricos obtidos e comparação com observações		X	X	X

		coletadas in situ				
4. Testes com o filtro espacial LOESS, online	3	Definição do tamanho filtro e verificação de sua eficiência em isolar a mesoescala oceânica			X	X
5. Elaboração de relatórios e/ou artigos científicos para divulgação dos resultados obtidos na pesquisa	1, 2, 3	Relatórios e demais trabalhos técnicos e científicos	X	X	X	X

1.1.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses							
	OUT	NOV	DEZ	JAN				
Atividade 1	X	X	X	X				
Atividade 2	X	X	X	X				
Atividade 3		X	X					
Atividade 4			X	X				
Atividade 5			X	X				

1.1.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades [1].

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out	Nov	Dez	Jan
Diagnóstico acerca da influência da mesoescala oceânica na atmosfera	1	Relatório técnico		X		
COAWST Ajustado	2	Relatório técnico				X
Efeito da mesoescala oceânica diagnosticado nas simulações acopladas	3	Relatório técnico				X

1.1.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out	Nov	Dez	Jan
1. Aprimoramento das componentes oceânica e atmosférica modelo acoplado COAWST	2	Realização de experimentos numéricos com o modelo estável	X	X	X	
2. Verificação do desempenho das componentes oceânica e atmosférica modelo	3	Comparação dos resultados obtidos com os experimentos numéricos com		X	X	



acoplado COAWST		bases observacionais independentes				
3. Diagnóstico e compreensão do efeito da mesoescala oceanica nos processos de interação oceano-atmosfera e no clima do Brasil	3	Comparação dos resultados obtidos (com o filtro espacial, online) nos experimentos numéricos com bases observacionais			X	X

1.1.8 - Recursos Solicitados

1.1.8.1. Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	0,00
Passagens	0,00
Total (R\$)	0,00

1.1.8.2. Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00			
	B	4.160,00	4	1	16.640,00
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					16.640,00

1.1.9 - Equipe do Projeto

Coordenador: Luciano Ponzi Pezzi (DIOTG/INPE)

Colaboradores:

Marcelo Santini (DIOTG/INPE)

1.1.10 - Principais Referências Bibliográficas consultadas

FRENGER, I.; GRUBER, N.; KNUTTI, R.; MUNNICH, M. Imprint of southern ocean eddies on winds, clouds and rainfall. Nature geoscience, Nature Publishing Group UK London, v. 6, n. 8, p. 608–612, 2013.

LEYBA, I. M.; SARACENO, M.; SOLMAN, S. A. Air-sea heat fluxes associated to mesoscale eddies in the southwestern atlantic ocean and their dependence on different regional conditions. Climate Dynamics, Springer, v. 49, p. 2491–2501, 2017.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. de; SANTINI, M. F.; MILLER, A. J.; CARVALHO, J. T.; PARISE, C. K.; QUADRO, M. F.; ROSA, E. B.; JUSTINO, F.; SUTIL, U. A. et al. Oceanic eddy-induced modifications to air–sea heat and co2 fluxes in the brazil-malvinas confluence. Scientific reports, Nature Publishing Group UK London, v. 11, n. 1, p. 10648, 2021.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. d.; QUADRO, M. F. Uma revisão dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do oceano atlântico sul baseada



em dados observacionais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 31, p. 428–453, 2016.

RENAULT, L.; MASSON, S.; OERDER, V.; JULLIEN, S.; COLAS, F. Disentangling the mesoscale ocean-atmosphere interactions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Wiley Online Library, v. 124, n. 3, p. 2164–2178, 2019.

WARNER, J. C.; ARMSTRONG, B.; HE, R.; ZAMBON, J. B. Development of a coupled ocean-atmosphere-wave-sediment transport (coawst) modeling system. *Ocean modelling*, Elsevier, v. 35, n. 3, p. 230–244, 2010.



Projeto 7: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS ESPACIAIS E SUAS APLICAÇÕES

Subprojeto 7.1: Geotecnologias Aplicadas à Análise da Dinâmica dos Espelhos d'Água, Uso e Ocupação do Solo no Bioma Caatinga e Nordeste Brasileiro.

7.1.1 – Introdução

Este subprojeto consta no Projeto 7 do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 400077/2022-1, disponível na página do INPE.

A Caatinga, único bioma de exclusividade brasileira, detém a maior biodiversidade entre as regiões semiáridas do planeta, ocupando uma área de aproximadamente 844.453 km², equivalente a 11% do território nacional. Predominante na região Nordeste do Brasil, a Caatinga abrange os nove estados nordestinos, Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí e Sergipe, e se estende até o norte de Minas Gerais.

Caatinga, que significa “mata branca”, na língua indígena, deve-se à aparência das árvores quando perdem suas folhas durante o longo período de estiagem. Caracterizada pelo clima de baixa umidade, pouco volume pluviométrico, e de temperaturas elevadas. E apresentando vegetação desde arbórea-arbustiva, cactáceas, bromeliáceas e estrato herbáceo abundante quando em período chuvoso.

Apesar de sua relevante importância, o bioma Caatinga tem sido seriamente ameaçado pelas práticas inadequadas de uso e ocupação do solo, dentre elas, práticas agrícolas e pastoris, queimadas, extração ilegal de madeira, uso de lenha não manejada, olarias e polos gesseiros que ao longo do tempo vem contribuindo para ampliação do processo de degradação ambiental.

A vegetação, por sua vez, é um dos componentes mais importantes da biota, na medida em que seu estado de conservação e de continuidade definem a existência ou não de habitat para as espécies, a manutenção de serviços ambientais ou mesmo o fornecimento de bens essenciais à sobrevivência de populações humanas (MMA, 2007).

Dessa maneira, o uso combinado das geotecnologias tem se mostrado como ferramenta indispensável para a compreensão dos fenômenos ambientais, tal como em estudos relacionados ao mapeamento do uso e ocupação do solo, possibilitando aos pesquisadores aplicação do conhecimento através de formas de organização do espaço mediante suas transformações.

Neste contexto, o referido subprojeto tem por finalidade, através do uso de Sensoriamento Remoto e do Processamento Digital de Imagens em Sistema de Informação Geográfica (SIG) realizar e disponibilizar o mapeamento da distribuição espacial e temporal do uso e ocupação do solo do bioma Caatinga, com ênfase na identificação da presença da vegetação através da aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

Nos últimos anos, em meio à seca e a crise hídrica que afetou várias regiões do Brasil, em particular a região semiárida, os reservatórios vêm sendo constantemente monitorados.

As reservas hídricas superficiais são um recurso natural essencial para as sociedades, além de atuar no funcionamento e manutenção de vários processos biogeoquímicos do planeta Terra. No contexto da gestão dos recursos hídricos, os espelhos d'água podem ser interpretados como sendo às superfícies contínuas de água de um corpo hídrico exposta à atmosfera, correspondendo, em geral, à área ocupada por esse corpo d'água, seja um lago, lagoa, açude, reservatório de barragem etc. (ANA, 2013).

Dentro do aspecto da importância dos recursos hídricos, as águas doces superficiais constituem uma pequena fração dos recursos hídricos existentes no planeta. Entretanto, o seu valor econômico e social para as populações humanas é inestimável, considerando que estas águas são as mais acessíveis. Além disso, podemos dizer que as águas doces superficiais fornecem uma diversidade de serviços ecossistêmicos abrangentes para toda a vida (POSTEL et al., 1996; PEKEL et al., 2016).

Os reservatórios desempenham um serviço fundamental na acumulação da água proveniente dos períodos chuvosos ou de maior vazão dos corpos hídricos, em diversas regiões hidrográficas (ANA, 2013). Porém, as precipitações abaixo da média e os eventos de seca extrema observada nos últimos anos (CUNHA et al., 2019), resultaram em uma crise hídrica que afetou substancialmente várias regiões do Brasil e, em particular, a região

semiárida no período de 2012 a 2017.

No semiárido, a dinâmica hidro ambiental de incerteza e irregularidade das precipitações, o baixo potencial em disponibilidade de águas subterrâneas e a intermitência dos rios levaram à criação de uma infraestrutura hídrica de aproximadamente 70 mil reservatórios de usos múltiplos, conhecidos localmente como açudes, visando garantir a segurança hídrica da região mais açudada do mundo (ANA, 2013).

Nesse sentido, o Sensoriamento Remoto oferece uma gama de alternativas para a observação contínua deste recurso natural, permitindo diversas aplicações, como a detecção, o mapeamento, e a caracterização bio-óptica dos corpos d'água em larga escala (BARBOSA; NOVO; MARTINS, 2019). Desse modo, as medições por satélite e outras plataformas também são uma fonte de informações para permitir o mapeamento das águas superficiais do ecossistema aquático em planícies de inundação, rios, canais, lagos e reservatórios (SOUZA et al., 2019).

Devido ao efeito da absorção de luz, os corpos d'água têm uma refletância espectral relativamente menor do que outros alvos de superfície no espectro visível e infravermelho, tornando os corpos d'água facilmente detectáveis (YAN et al., 2019). Assim, várias são as técnicas de Sensoriamento Remoto para a identificação de corpos d'água (ELSAHABI et al., 2016). Esse conjunto de possibilidades abrange desde o uso de vários índices espectrais (DU et al., 2016); e tipos de sensores, sejam eles ativos (PHAM-DUC et al., 2017) e/ou passivos (MUELLER et al., 2016); de diferentes resoluções espaciais (CHEN et al., 2018), espectrais e temporais (COOLEY et al., 2017).

Assim, em virtude do número elevado de reservatórios existentes no Nordeste Brasileiro e diante da relevância dos recursos hídricos para o desenvolvimento socioeconômico, o propósito deste projeto será mapear e analisar, por meio de Sensoriamento Remoto, a dinâmica dos espelhos d'água dos principais reservatórios do Nordeste, compreendendo os anos de 2018 até 2023.

O projeto fará uso de imagens do satélite Landsat 8, onde daremos continuidade ao mapeamento da dinâmica dos espelhos d'água dos principais reservatórios do Nordeste, utilizando a plataforma do Google Earth Engine (GEE), uma avançada plataforma de processamento geoespacial baseada em nuvem, feita principalmente para análises de dados ambientais em escala planetária (big data); assim como o QGis, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e gratuito de visualização, edição e análise de dados.

As atividades desenvolvidas no mapeamento e geração de bases cartográficas pelo COENE-INPE, reforçam a importância do projeto na prestação de serviços para a sociedade por meio da divulgação de informações relevantes sobre a situação atual das reservas hídricas superficiais.

Nesse contexto, o projeto já disponibilizou mais de 250 mapas dos principais reservatórios do semiárido, sendo 67 no estado do Ceará, 40 na Paraíba, 38 em Pernambuco, 34 na Bahia, 27 no Rio Grande do Norte, 21 no Piauí, 6 em Sergipe, 4 em Alagoas e 1 no Maranhão. Atualmente, o grupo de geoprocessamento está desenvolvendo projetos ligados ao monitoramento de recursos hídricos e zoneamento geoambiental, com produção de mapas de uso e ocupação do solo.

Dessa forma, os resultados podem ter diversos usos potenciais nas políticas e planejamento de abastecimento, auxiliando na tomada de decisão, no gerenciamento e no uso sustentável das águas. Tais informações são extremamente importantes para o planejamento e a gestão ambiental dos recursos hídricos, sob a perspectiva de fomentar políticas de abastecimento e, com isso, ampliar a capacidade de enfrentar problemas relacionados à segurança hídrica.

7.1.2 - Objetivo Geral

Analisar a dinâmica de uso e ocupação do solo no bioma Caatinga por meio da aplicação de geotecnologias, como o uso de sensoriamento remoto e da plataforma de processamento de dados em nuvem Google Earth Engine. Realizar o mapeamento da dinâmica dos espelhos d'água dos principais reservatórios do Nordeste por meio de Sensoriamento Remoto.

O projeto visa ampliar o conhecimento sobre: (1) o bioma Caatinga através de disponibilização de mapas temáticos de uso e ocupação do solo por municípios inseridos dentro dos limites deste bioma; (2) a situação atual das reservas hídricas superficiais através



da disponibilização de mapas temáticos, geração de bases cartográficas e monitoramento de recursos hídricos e zoneamento geo-ambiental com produção de mapas de uso e ocupação do solo.

Para atingir o Objetivo Geral deste projeto, serão realizados os seguintes objetivos específicos:

Objetivo Específico 1 – Realizar pesquisa bibliográfica para embasamento teórico acerca dos temas a serem trabalhados no projeto;

Objetivo Específico 2 - Definir áreas de interesse para aplicação do estudo;

Objetivo Específico 3 – Selecionar e adquirir imagens do satélite Sentinel-2, com baixa cobertura de nuvens que atendam às necessidades da escala espacial e temporal trabalhada; geração e disponibilização de mapas temáticos em escalas compatíveis com as características dos municípios;

Objetivo Específico 4 - Aplicar a metodologia utilizada para mapeamento do uso e ocupação do solo do bioma Caatinga, considerando as potencialidades e limitações existentes; atividades de campo com o intuito de analisar os principais impactos ambientais e o uso e ocupação da área de estudo. Essa interação será através de discussões com as comunidades envolvidas acerca dos fatores que poderiam intensificar o risco geoambiental existente e que ações mitigadoras poderiam ser exigidas para o poder público, com o objetivo da resolução da problemática em questão;

Objetivo Específico 5 – Utilizar métodos computacionais de geoprocessamento e sensoriamento remoto, em ambiente de programação em nuvem do Google Earth Engine, para aquisição, interpretação e classificação das imagens selecionadas, com vistas a minimizar a influência dos fatores que compõem a atmosfera terrestre; monitorar os espelhos d'água dos principais reservatórios do Nordeste;

Objetivo Específico 6 - Realizar classificação supervisionada baseada em pixel utilizando o *machine learning* com o classificador *Random Forest* das áreas de estudo; analisar os fatores geoambientais associados à degradação das reservas hídricas superficiais

Objetivo Específico 7 - Aplicar os índices espectrais NDVI, SAVI e BSI de forma a auxiliar no processo de classificação e realçar aspectos de interesse, como a vegetação; interação com as comunidades envolvidas através de discussões, aplicação de questionários e divulgação de resultados

Objetivo Específico 8 - Avaliar a precisão da classificação através da matriz de confusão e índice Kappa; identificação e criação de uma base georreferenciada das áreas de risco geológico-geotécnico na Região Nordeste do Brasil. Os mapas, face ao processo que serão submetidos para sua elaboração, vão permitir agilidade e manutenção sistemática da informação mapeada, esperando-se que a utilização destes mapas, com informações atualizadas de meio ambiente, possa servir para o monitoramento ambiental a nível municipal.

Objetivo Específico 9 - Mapear e espacializar o uso e ocupação do solo das áreas selecionadas; executar a análise geoambiental da área de estudo, para tanto, a pesquisa utilizará dados e informações antigos e atuais, e aplicará técnicas modernas e ferramentas de geoprocessamento, detectando e mensurando os principais problemas ou impactos ambientais existentes na área de estudo

Objetivo Específico 10 - Disponibilizar mapas para a sociedade por meio do sítio institucional, bem como difundir resultados por meio de publicações em periódicos científicos e/ou eventos; consolidação do Grupo de Geoprocessamento na Coordenação Espacial do Nordeste com foco na Produção de Mapas Municipais Geoambientais e a consequente disponibilidade adequada de recursos humanos na área da geoinformação

7.1.3 - Insumos



7.1.3.1 – Custeio

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
	Passagens	
	Diárias	
	Passagem	
	Diárias	

7.1.3.2 – Bolsas

O projeto necessita de um profissional com formação em:

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
7.1.1	Profissional com Graduação ou Mestrado em Geografia, Tecnologia da Informação, Gestão Ambiental, Engenharia Ambiental ou áreas correlatas.	Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e, Sistemas de Informação Geográfica	1 a 10	DC	4	1

7.1.4 - Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
1. Reconhecer áreas de estudo por meio de geotecnologias	1 e 2	Áreas definidas e reconhecidas.	Realizar reconhecimento da área de estudo por meio de levantamento bibliográfico e visitas a campo para observação in loco dos aspectos ambientais, e verificação da realidade terrestre	
2. Realizar levantamento preliminar dos principais impactos ambientais verificados em campo	2	Levantamento preliminar Realizado.	Levantamento preliminar dos principais impactos ambientais verificados em campo	

3. Utilizar imagens do Satélite Sentinel-2	3	Imagens selecionadas.	Selecionar imagens do satélite Sentinel-2 com baixa cobertura de nuvens da estação seca.	Selecionar imagens do satélite Sentinel-2 com baixa cobertura de nuvens da estação seca.
4. Aplicar metodologia	4	Utilizar a plataforma de processamento em nuvem do Google Earth Engine Code.	Utilizar sensoriamento remoto e classificação supervisionada baseada em pixel;	Utilizar sensoriamento remoto e classificação supervisionada baseada em pixel;
5. Classificar e espacializar a cobertura vegetal da área de estudo	4, 5 e 6	Cobertura vegetal especializada.	Uso do <i>Machine Learning</i> com classificador <i>Random Forest</i> ; Espacialização da cobertura vegetal da área de estudo.	Uso do <i>Machine Learning</i> com classificador <i>Random Forest</i> ; Espacialização da cobertura vegetal da área de estudo.
6. Gerar índices espectrais da vegetação.	6	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> (SAVI) e <i>Bare Soil Index</i> (BSI) gerados.	Auxiliar no processo de classificação e realçar aspectos de interesse na imagem em estudo.	Auxiliar no processo de classificação e realçar aspectos de interesse na imagem em estudo.
7. Avaliar a Precisão da Classificação de Imagens	5, 6, 7 e 8	Avaliar a exatidão da classificação a partir do cruzamento de informações geradas pela classificação com as amostras de validação.	Gerar a Matriz de confusão e índice Kappa.	Gerar a Matriz de confusão e índice Kappa.
8. Mapear o atual uso e ocupação do solo das áreas de estudo.	9 e 10	Áreas de estudo mapeadas.		Mapear o atual uso e ocupação da área de estudo, destacando a cobertura vegetal e as áreas de preservação ambiental instituídas na legislação vigente
9. Analisar os fatores geoambientais associados à degradação das reservas hídricas superficiais.	6, 7, 8, 9 e 10	Banco de dados dos fatores geoambientais associados à degradação das reservas hídricas superficiais.	Criar cartas dos fatores geoambientais associados à degradação das reservas hídricas superficiais.	Criar cartas dos fatores geoambientais associados à degradação das reservas hídricas superficiais.

7.1.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Semestre									
	2023		2024		2025		2026		2027	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. Reconhecer áreas de estudo por meio de geotecnologias.										
2. Realizar levantamento preliminar dos principais impactos ambientais verificados em campo.										
3. Utilizar imagens do Satélite Sentinel-2.										
4. Aplicar metodologia										
5. Classificar e espacializar a cobertura vegetal das áreas de estudo.										
6. Gerar índices espectrais da vegetação.										
7. Avaliar a precisão da classificação de imagens.										
8. Mapear o atual uso e ocupação do solo das áreas de estudo.										
9. Analisar os fatores geoambientais associados à degradação da das reservas hídricas superficiais.										

7.1.6 – Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024
Mapeamento da dinâmica de uso e ocupação do solo em áreas de estudo pertencentes ao bioma Caatinga	1 a 10	Disponibilizar a plataforma de mapas gerados automáticos e; Publicação em congressos e/ou revistas científicas.	Cobertura vegetal classificada e espacializada das áreas de estudo; Índices de Vegetação NDVI, SAVI e BSI das áreas de estudo e; Uso e ocupação das áreas de estudo mapeadas, destacando a cobertura vegetal, e as áreas de preservação ambiental instituídas na legislação vigente.	Uso e ocupação das áreas de estudo mapeadas, destacando a cobertura vegetal, e as áreas de preservação ambiental instituídas na legislação vigente.
Publicação de mapas do monitoramento dos espelhos d'água dos principais reservatórios do Nordeste; e Geração e Disponibilização de Mapas Temáticos em escalas compatíveis com as características dos municípios	1, 2, 3, 4 e 5	Número de mapas elaborados e publicação de artigos	Publicação de dois artigos em simpósio ou revista	Geração e Disponibilização de Mapas Temáticos em escalas compatíveis com as características dos municípios
Criar cartas dos fatores geoambientais associados à degradação das reservas hídricas superficiais.	6, 7, 8, 9 e 10	Número de mapas elaborados e publicação de artigos	Criar cartas de suscetibilidade a ocorrência de processos geo-hidrodinâmicos	Publicação de dois artigos em simpósio ou revista

7.1.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas	
			2023	2024



Geração e disponibilização de mapas temáticos do bioma Caatinga.	1 a 10	Mapas utilizados para monitoramento e controle da região da Caatinga; Mapas utilizados para pesquisa e desenvolvimento e; Artigos com os resultados publicados.	Cobertura vegetal das áreas de estudo; Índices de Vegetação NDVI, SAVI e BSI das áreas de estudo com correção Atmosférica; Mapas de Uso e Ocupação do Solo das áreas de estudo mapeadas e; Publicação de artigos.	Mapas de Uso e Ocupação do Solo das áreas de estudo mapeadas e; Publicação de artigos.
Geração e disponibilização de mapas	1 a 10	Número de downloads e ou acessos aos Mapas e cartas imagem	Aumentar o volume de acesso aos dados	Solicitações de produtos
Citações dos artigos publicados	1 a 10	Citação dos artigos	Citação do artigo pelo menos 1 vez	Citação do artigo pelo menos 1 vez

7.1.8 - Recursos Solicitados

Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	
Passagens	
Total (R\$)	

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00			
	B	4.160,00			
	C	3.380,00	4	1	13.520,00
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					13.520,00

7.1.9 - Equipe do Projeto

Melquisedec Medeiros Moreira (Servidor)
Kátia Alves Arraes (Servidora)

Bolsista PIBIC - Leandro Magno dos Santos Filho

7.1.10 - Referências Bibliográficas

ALMEIDA, S. A. S.; FRANÇA, R. S.; CUELLAR, M. Z. Uso e Ocupação do Solo no Bioma Caatinga no Estado do Rio Grande do Norte. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal - RN. Brasil. p. 555-5561, 25 a 30 de abril de 2009.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil**, 2013. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/4-II-TEXTO.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L.; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1. ed. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. 161p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/labisa/livro/res/conteudo.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2022.

BRASIL. (2012). Lei Federal n.º 12.651 de 2012. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio. 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 10 de abril 2019.

CHEN, Y.; FAN, R.; YANG, X.; WANG, J.; LATIF, A. Extraction of Urban Water Bodies from High-Resolution Remote-Sensing Imagery Using Deep Learning. **Water** [online] v. 10, n. 5, p. 585, 1 maio 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10050585>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/5/585>. Acesso em: 10 out. 2021.

COOLEY, S.; SMITH, L.; STEPAN, L.; MASCARO, J. Tracking Dynamic Northern Surface Water Changes with High-Frequency Planet CubeSat Imagery. **Remote Sensing** [online] v. 9, n. 12, p. 1306, 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs9121306>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/12/1306>. Acesso em: 22 out. 2021.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 1-20, 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos10110642>. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/11/642>. Acesso em: 28 abr. 2021.

DU, Y.; ZHANG, Y.; LING, F.; WANG, Q.; LI, W.; LI, X. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. **Remote Sensing**, [online] v. 8, n. 4, p. 354, 22 abr. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8040354>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/4/354>. Acesso em: 28 out. 2021.

ELSAHABI, M.; NEGM, A.; TAHAN, A. H. M. H. E. Performances Evaluation of Surface Water Areas Extraction Techniques Using Landsat ETM+ Data: Case Study Aswan High Dam Lake (AHDL). **Procedia Technology** [online] S.L.], v. 22, p. 1205-1212, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.protcy.2016.02.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316001778?via%3Dihub>. Acesso em: 18 set. 2021.

GARIGLIO, M. A. et al. (Org.). Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. Disponível em: . Acesso em: 25 mar. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 3 ed. Rio de Janeiro: 2013. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2 ed. Rio de Janeiro: 2012. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>> . Acesso em: 14 nov. 2019.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Mudanças Climáticas Globais e o Impacto no Bioma Caatinga INPE, 2008.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Caatinga. Brasília: MMA, 2016. Disponível: <<https://www.mma.gov.br/biomas/caatinga.html>>. Acesso em: 08 jun. 2019.

MMA. (2007). Portaria nº 09, de 23 de janeiro de 2007. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 jan. 2007. Seção 1, p. 55.

MOREIRA, M. M. Mapeamento Geotécnico do Município de Natal-RN e Áreas Adjacentes. 1996. 148 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade de Brasília-UnB, Brasília-DF, 1996.

MOREIRA, M. M. Mapeamento Geotécnico e Reconhecimento dos Recursos Hídricos e do Saneamento da Área Urbana do Município de Natal-RN: Subsídios para o Plano Diretor. 2002. 282 p. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília-UnB, Brasília-DF, 2002.

MOREIRA, M. M.; SOUZA, N. M.; CUELLAR, M. D. Z.; ARRAES, K. A. Carta Geotécnica de suscetibilidade a processos geoambientais e risco potencial a escorregamentos de terra e eventos destrutivos de natureza hidrogeológica no Município de Natal-RN: Contribuição às Políticas Públicas. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016, Campinas, SP. Anais... Campinas, SP: CABAS, 2016.

MOREIRA, M. M.; de SOUZA, N. M.; ARRAES, K. A. Aquitardo Potengi-Barreiras da área urbana do município de Natal-RN: Suscetibilidade e risco potencial de deslizamentos, alagamentos e inundações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 17, 2022, Belo Horizonte. Anais... São Paulo, SP: ABGE, 2022. ID: 53. Disponível em: <https://schenautomacao.com.br/cbge2022/anais/trabalhos.php>. Acesso em 23 jan. 2023.

MOREIRA, M. M.; de SOUZA, N. M.; ARRAES, K. A. Cartografia Geotécnica Digital para o Planejamento Urbano do Município de Natal – RN. In: VIII CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2022, Porto de Galinhas, PE. Anais... Porto de Galinhas, PE: COBRAE, 2022.

PEKEL, J. F.; COTTAM, A.; GORELICK, N.; BELWARD, A. S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. **Nature** [online] v. 540, n. 7633, p. 418-422, 7 dez. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nature20584>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature20584>. Acesso em: 6 ago. 2021.

PHAM-DUC, B.; PRIGENT, C.; AIRES, F. Surface Water Monitoring within Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta over a Year, with Sentinel-1 SAR Observations. **Water** [online] v. 9, n. 6, p. 366, 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w9060366>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/6/366>. Acesso em: 3 out. 2021.

POSTEL, S. L.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. 1996. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. **Science** [online] v. 271, n. 5250, p. 785-788, 9 fev. 1996. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.271.5250.785>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.271.5250.785>. Acesso em: 26 out. 2021.

SOUZA, C.; KIRCHHOFF, F.; OLIVEIRA, B.; RIBEIRO, J.; SALES, M. 2019. Long-Term Annual Surface Water Change in the Brazilian Amazon Biome: Potential Links with Deforestation, Infrastructure Development and Climate Change. **Water** [online] v. 11, n. 3, p. 566, 19 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w11030566>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/566>. Acesso em: 20 set. 2021.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

YAN, W.; SHAKER, A.; LAROCQUE, P. Scan Line Intensity-Elevation Ratio (SLIER): An Airborne LiDAR Ratio Index for Automatic Water Surface Mapping. **Remote Sensing** [online], v. 11, n. 7, p. 814, 4 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11070814>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/7/814>. Acesso em: 25 set. 2021.

Projeto 9: CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

Subprojeto 9.1: Assimilação de dados de radiância no aprimoramento da Previsão Numérica do CPTEC

9.1.1 – Introdução

O *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI) é um sistema de assimilação de dados em espaço físico que integra diversas funcionalidades explorando diferentes métodos de minimização e é capaz de ingerir dados de todos os principais sistemas observacionais (Cohn et al. 1998). Fruto de um processo de desenvolvimento colaborativo conta com a contribuição de diversas organizações dos Estados Unidos, sendo uma ótima opção para a atividades operacionais de assimilação de dados (Kleist et al. 2009). O Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), visando aprimorar seu sistema de assimilação de dados tem adotado o GSI desde 2013 o qual permitiu que a ingestão de dados de radiância fosse operacionalizada pela primeira vez nesse centro (Azevedo et al. 2017). Diversos trabalhos foram desenvolvidos com o uso desse sistema de assimilação e os benefícios foram diretos e contribuíram para a melhoria da qualidade dos produtos de previsão numérica. Entre os dados de radiância, a assimilação de dados dos sensores de micro-ondas está diretamente relacionada a correta simulação de parâmetros como a temperatura da superfície terrestre, umidade e temperatura do solo e características da vegetação.

Estudos recentes realizados no CPTEC utilizando o sistema SMNA (Sistema de Modelagem Numérica e Assimilação), que é composto pelo GSI acoplado ao modelo *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM), evidenciaram que a maior eficiência do processo de assimilação de dados dos canais de micro-ondas tem uma relação direta com a boa representação das características da superfície pelo modelo de previsão. Em outro trabalho foi demonstrado que bons resultados na melhoria da representação das características da superfície são obtidos com a assimilação de dados de superfície. Embora essas pesquisas sejam fortemente correlacionadas, ainda não foram exploradas de forma conjunta para o aprimoramento do processo de assimilação de dados de radiância, o que é o tema principal dessa proposta. Assim, o objetivo deste projeto é investigar qual é a real contribuição da assimilação de dados de superfície para a assimilação de dados de radiância nos canais de micro-ondas usando o GSI com modificações e melhorias no operador de observação (CRTM). Com o desenvolvimento dessa proposta espera-se aprimorar não apenas a assimilação de dados dos canais de radiância, mas melhor aproveitar essa fonte de informação de forma mais generalizada, beneficiando de forma indireta a assimilação de todas as demais bases de dados.

Este subprojeto trata das atividades necessárias para atingir os objetivos específicos 3 e 4 do Projeto 9 do **CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS** do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 400077/2022-1, disponível na página do INPE.

9.1.2 - Objetivo Geral

Melhorar e aprimorar os métodos de assimilação de dados de radiância, para obter uma análise meteorológica global comparável à dos demais centros operacionais.

Os objetivos específicos são:

1. Aprimorar o sistema de avaliação diagnóstica da assimilação de dados de radiância usando a ferramenta ReadDiag implementada em Python.
2. Avaliação do desempenho da assimilação de radiância no sistema de assimilação de dados do CPTEC-INPE, diagnosticando deficiências e aprimorando o processo.
3. Investigar os melhores ajustes no processo de assimilação de dados que envolve correção de bias, *thinning* da densidade dos dados, seleção de canais e demais possíveis fatores envolvidos ao uso eficiente dos dados de radiância;



9.1.3 – Insumos

9.1.3.1 – Custeio

9.1.3.2 – Bolsas

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
9.1.1	Profissional graduado em Meteorologia, Física, Tecnologia da Informação ou áreas afins, com 10 (dez) anos de experiência em projetos científicos, tecnológicos ou de inovação após a obtenção do diploma de nível superior ou com título de Doutor há, no mínimo, 2 (dois) anos; ou com grau de Mestre há 6 (seis) anos	Experiência em modelagem e desenvolvimento computacional	1-2-3	D-A	4	1

9.1.4 - Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out. 2023	Nov 2023	Dez 2023	Jan. 2024
1. Aprimoramento da ferramenta diagnóstica da assimilação de radiação no ReadDiag no Python.	1	Protocolo de avaliação da radiação implementado e aprimorado		X		
2. Avaliação da assimilação de dados de radiação no sistema SMNA pré operacional do INPE	2	Resultados com impacto da assimilação de dados de radiação evidenciado			X	
3. Investigar ajustes no correção de bias na assimilação de dados de radiação	3	Sistema GSI com a técnica de correção de bias testada				X
4. Investigar ajustes no <i>thinning</i> dos dados de radiação otimizando a relação densidade/impacto	3	Sistema GSI com uma avaliação no processo de thinning da radiação				X
5. Elaboração de relatórios e/ou artigos científicos para divulgação dos resultados obtidos na pesquisa	1-3	Relatórios e demais trabalhos técnicos e científicos		X		X



9.1.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses			
	Out. 2023	Nov 2023	Dez 2023	Jan. 2024
Atividade 1	X	X		
Atividade 2		X	X	
Atividade 3			X	X
Atividade 4				X
Atividade 5		X		X

9.1.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades [1].

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out. 2023	Nov 2023	Dez 2023	Jan. 2024
Diagnóstico do aprimoramento da assimilação de radiação nos resultados do BAM	1 e 2	Relatório técnico		X		
Versão do SMNA que potencialize o impacto dos dados de radiação na qualidade das previsões	3	Relatório técnico				X

9.1.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out. 2023	Nov 2023	Dez 2023	Jan. 2024
1. Aprimoramento do sistema de diagnóstico da assimilação de observações de radiação do GSI	1 e 2	Versão do GSI com melhores resultados na assimilação de radiação		X		
2. Otimização dos benefícios da assimilação de dados de radiação no GSI	3	Versão do SMNA com maior impacto dos dados de radiação nas previsões geradas				X

9.1.8 - Recursos Solicitados

9.1.8.1. Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	0,00
Passagens	0,00
Total (R\$)	0,00



9.1.8.2. Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					20.800,00

9.1.9 - Equipe do Projeto

Coordenador: Luiz Fernando Sapucci

Colaboradores:

João Gerd Zell de Mattos

Éder Paulo Vendrasco

José Antonio Aravéquia

9.1.10 - Referências Bibliográficas consultadas

1. AZEVEDO, H. B.; De GONÇALVES, L. G. G.; BASTARZ, C. F.; SILVEIRA, B. B. **Observing System Experiments in a 3DVAR Data Assimilation System at CPTEC/INPE.** Weather and Forecasting, v. 32, n. 3, p. 873–880, 2017.
2. COHN, S. E., DA SILVA, A.; GUO, J.; SIENKIEWICZ, M.; LAMICH, D.; **Assessing the effects of the data selection with the DAO physical-space statistical analysis system.** Mon. Wea. Rev., 126, 2913- 2926, 1998.
3. KLEIST, D. T; PARRISH, D. F.; DERBER, J. C; TREADON, R.; WU, W-S; LORD, S., 2009: **Introduction of the GSI into the NCEP Global Data Assimilation System.** Monthly Weather Review, p.1691-1705. DOI: 10.1175/2009WAF2222201.1.



PROJETO 9 – CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

Subprojeto 9.2: Avaliação dos fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera em saídas do modelo oceânico MOM6

9.2.1 – Introdução

O oceano tem se aquecido nas últimas décadas em resposta ao forçamento imposto pelo CO₂ atmosférico afetando, assim os fluxos de calor na interface oceano-atmosfera e outras variáveis importantes como o conteúdo de calor oceânico e o transporte de calor massa pelas correntes marinhas. A média global de temperatura de superfície do mar (TSM) aumentou aproximadamente 0.6 °C no período entre 1980-2020 e 0.88 °C de 2011 a 2020, em relação ao período 1850-1900. Essa taxa de aquecimento é distribuída espacialmente de forma desigual, com leve resfriamento observado em algumas regiões. Uma das principais formas do oceano liberar ou absorver calor é através de fluxos turbulentos de calor latente (HL) e sensível (HS). Em modelos numéricos, esses fluxos são estimados através do método de parametrizações *bulk*, a partir de variáveis oceanográficas e meteorológicas e dependem, principalmente, da intensidade do vento e dos gradientes verticais de temperatura e umidade na interface oceano-atmosfera.

Em regiões oceânicas dominadas por processos dinâmicos complexos sujeitas, por exemplo, a intensos gradientes laterais de TSM e alta atividade de mesoescala, os fluxos de calor na interface oceano-atmosfera têm um papel importante na formação e manutenção de sistemas meteorológicos nas escalas espaciais regionais e globais, e também nas escalas temporais sinóticas a climáticas. A energia fornecida através dos fluxos de calor modifica a mistura vertical e representa um mecanismo modulador da atmosfera, principalmente na camada limite atmosférica marinha (CLAM). Como consequência, essas trocas de energia influenciam diversos processos atmosféricos de mesoescala e de escala sinótica como, por exemplo, a frontogênese, a geração de nuvens, as bandas de precipitação e a intensificação de sistemas frontais em médias latitudes. Diversos estudos sugerem que os fluxos de calor na interface oceano-atmosfera estão relacionados ao estado do mar e afetam a evolução das tempestades, modulando a taxa de precipitação. A variabilidade diurna da TSM e o resfriamento sensível devido à chuva são aspectos básicos da interação oceano-atmosfera, no entanto, são fenômenos importantes que ainda carecem melhor compreensão.

Devido à dificuldade de coleta de dados observacionais *in situ* no Oceano Global e à necessidade de se ampliar a cobertura espacial para entender os processos de trocas entre o oceano e atmosfera nas várias escalas temporais, os modelos numéricos tornaram-se ferramentas importantes. Assim sendo, os próprios modelos numéricos de clima ou de Sistema Terrestre possibilitam uma análise abrangente dos processos acoplados oceano-atmosfera e, através de projeções futuras, contribuem para a avaliação de impactos socioeconômicos e ambientais, auxiliando em políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Porém, a quantificação do balanço de energia calorífica nos oceanos ainda é um desafio nos modelos climáticos devido às grandes incertezas associadas aos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera, os quais são ainda discordantes entre os diferentes modelos em uso.

Neste contexto, a utilização de dados simulados numericamente a partir de um modelo oceânico como o MOM6 (*Modular Ocean Model*, versão 6), pode contribuir para um melhor entendimento tanto nos processos de trocas entre o oceano e a atmosfera em diversas escalas de tempo e espaço. O MOM6 é a unificação dos modelos oceânicos anteriores MOM5 e GOLD (*Generalized Ocean Layered Model*), desenvolvidos no GFDL (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*, EUA). O MOM6 possui um conjunto abrangente de parametrizações de processos físicos, que faz com que seja adequado para modelagem de processos regionais oceânicos e também para a modelagem climática global incluindo projeções futuras.

O Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP - *Coupled Model Intercomparison Project*), base científica do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) fornece um sistema de modelos voltado à compreensão das causas das mudanças climáticas globais e seus respectivos efeitos na



sociedade. Este sistema, disponibilizado através da plataforma ESGF (*Earth System Grid Federation*), é uma colaboração internacional entre instituições e fornece simulações que representam o tempo passado/presente e os cenários climáticos futuros, sendo este último experimento numérico denominado de Caminho Socioeconômico Compartilhado (SSP). As projeções representam possíveis caminhos de desenvolvimento social e político para atender a variação da forçante radiativa designada até o final do século XXI. O CMIP6 inclui cenários com altas emissões de gases do efeito estufa até final do século (SSP5-85) e cenários de baixa emissão e/ou intermediários (onde o CO₂ permanece próximo dos níveis atuais até meados do século XXI, por exemplo o SSP2-45).

Conhecer os erros sistemáticos e tentar melhorar a representação de diversas variáveis fundamentais em modelos numéricos ainda é um grande desafio científico. É muito importante que se aumente a frequência temporal de observações *in situ*, bem como o aprofundamento de estudos utilizando modelos numéricos do oceano e da atmosfera a fim de proporcionar um aumento no conhecimento sobre comportamento climatológico das variáveis e processos determinantes para as interações oceano-atmosfera.

O presente trabalho tem como objetivo estratégico estabelecer um grupo de trabalho focado nos fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera e métodos de análise operacionais na implementação e uso do modelo MONAN (*Model for Ocean-land-Atmosphere prediction*). O MONAN é uma iniciativa nacional para o estabelecimento de um modelo operacional, comunitário e unificado de Sistema Terrestre liderada pelo INPE. Como objetivo da componente de Oceanos e Criosfera do MONAN, espera-se aprimorar a capacidade nacional em simular o estado atual e futuro do oceano, que vem de encontro com as políticas de estado brasileiras. Essas políticas são descritas pelo MCTI no seu Plano Nacional de Implementação da Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, mais conhecida como “Década do Oceano”, uma iniciativa da UNESCO para os anos 2020-2030. E este esforço contribui, diretamente, para um dos sete resultados esperados da década, que é assegurar “um oceano previsível, o qual a sociedade compreenda para que possa responder às alterações das suas condições”.

Este subprojeto consta no Projeto 9 - “Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos” do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 444327/2018-5, disponível na página do INPE. Os objetivos do projeto estão alinhados com o objetivo específico 1, sobre o aprimoramento da modelagem numérica global e regional do sistema integrado atmosfera, oceano, superfície continental e aerossóis/química, e com o objetivo específico 5, que visa acompanhar a melhoria dos indicadores de desempenho global dos modelos dos melhores centros internacionais e superá-la para previsões de curto prazo sobre o Brasil e América do Sul.

9.2.2 - Objetivo Geral

O objetivo geral desse projeto é analisar as estimativas de fluxos de calor entre o oceano e atmosfera a partir de saídas do modelo MOM6 e da combinação de dados observacionais, reanálises oceânica e atmosférica e de outros modelos climáticos ou de sistema terrestre que compõe o CMIP6.

Objetivos Específicos

Objetivo Específico 1: Analisar a habilidade do modelo oceânico MOM6, para cenários de passado, presente e futuros (até 2100), em representar os padrões espaciais e temporais dos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera em relação a outras bases de dados observacionais, reanálises oceânicas e atmosféricas e de modelos do CMIP6.

Objetivo Específico 2: Identificar e analisar os erros sistemáticos (bias e erro médio quadrático) dos fluxos de calor do modelo MOM6 em relação a outras bases de dados observacionais, reanálises oceânicas e atmosféricas e de modelos do CMIP6.

Objetivo Específico 3: Comparar as séries temporais dos fluxos de calor do modelo MOM6 com séries de tempo de dados observacionais obtidos a partir dos projetos PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), INCT Criosfera (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera), PNBoia (Programa Nacional de Boias) e SIMCosta (Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira) e outros cujos dados já estão disponíveis livremente na internet ou no INPE.

9.2.3 - Insumos

9.2.3.1 – Custeio

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)

9.2.3.2 – Bolsas

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
9.2.1	Graduação em Meteorologia, Física, Engenharia ou Oceanografia Física com doutorado Meteorologia ou Oceanografia Física	Técnicas de análise de séries temporais de dados ou modelagem numérica atmosférica e/ou oceânica	1 a 3	DA	4	1

9.2.4 - Atividades de Execução 2023/2024

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Outubro/23	Novembro/23	Dezembro/23	Janeiro/24



1) Aquisição e processamento de dados de saídas dos modelos MOM6, CMIP6, reanálises e de dados observacionais de fluxos de calor na interface oceano-atmosfera para o tempo passado/presente	1	Análises do desempenho do MOM6 para descrever a variabilidade espacial dos fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera no clima passado/presente comparando com os dados observacionais, de reanálises e do CMIP6	Determinar os padrões espaciais dos fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera das diferentes bases de dados			
2) Aquisição e processamento de dados de saídas dos modelos MOM6 e CMIP6 de fluxos de calor na interface oceano-atmosfera para os cenários futuros (SSP5-85)	1	Análises das projeções do MOM6 e CMIP6 para o clima futuro em relação ao clima presente/passado		Análise de sensibilidade do oceano global ao forçamento radiativo		
3) Análise de séries temporais dos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera no oceano global	1,2	Análise da variabilidade e tendências dos fluxos de calor para o clima passado/presente e futuro			Análise da sensibilidade climática para as variáveis TSM, temperatura do ar, ventos e fluxos de calor em relação ao forçamento radiativo	
4) Identificação das diferenças (bias) e erro médio quadrático entre os fluxos de calor na interface oceano-atmosfera em saídas do modelo MOM6 e outras bases de dados	2	Análise do desempenho do MOM6 e CMIP6 para o clima passado/presente comparando com os dados observacionais e reanálises			Avaliação do desempenho MOM6 e CMIP6 para o domínio global	

5) Aquisição, processamento e análise dos dados observacionais do PIRATA, PNBoia, INCT Criosfera e SIMCosta	3	Analisar as séries de tempo de fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera e comparar com as saídas do modelo MOM6				Identificação dos bias e erro médio quadrático entre as séries de tempo
---	---	---	--	--	--	---

9.2.5 – Cronograma de Atividades 2023/2024

Atividades	Outubro/ 23	Novembro/23	Dezembro/23	Janeiro/ 24
1) Aquisição e processamento de dados de saídas dos modelos MOM6, CMIP6, reanálises e dados observacionais de fluxos de calor para o tempo passado/presente	X			
2) Aquisição e processamento de dados de saídas dos modelos MOM6 e CMIP6 de fluxos de calor para os cenários futuros (SSP5-85)		X		
3) Análise dos impactos das projeções de clima futuro nos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera no oceano global			X	
4) Identificação das diferenças e erros do MOM6 com respeito ao CMIP6 na representação dos fluxos de calor na interface oceano-atmosfera no oceano global			X	
5) Aquisição, processamento e análise dos dados observacionais dos projetosvcPIRATA, PNBoia, INCT Criosfera e SIMCosta			X	X

9.2.6 – Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Outubro/23	Novembro/23	Dezembro/23	Janeiro/24



Publicação de artigos para divulgação de resultados sobre performance do modelo acoplado MOM6	1,2,3	Número de artigos publicados			1 artigo submetido em revistas científicas indexadas	
Relatório Técnico sobre a avaliação da performance do modelo acoplado MOM6	2	Relatório Técnico apresentado				Apresentação de Relatório Técnico
Divulgação científica em congressos ou reuniões acadêmicas sobre a avaliação da performance do modelo MOM6	2	Poster, resumo e/ou apresentação oral		pôsteres ou apresentação oral		

9.2.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas
Citações de artigos sobre modelagem do MOM6	1,2,3	Citações de artigos publicados em revistas indexadas	Aumentar o uso e o número de citações do desenvolvimento da modelagem numérica do Grupo de Oceanos-Criosfera
Citações de artigos sobre modelagem de fluxos de calor do MOM6	1,2,3	Citações de artigos publicados em revistas indexadas	Aumentar o número de citações dos produtos de modelagem de fluxos de calor do MOM6 desenvolvimento da modelagem numérica do Grupo de Oceanos e Criosfera
Aumento da rede de colaboradores que trabalham com os modelos MOM6 e CMIP	1,2,3	Número de colaboradores	Aumentar o número de centros de pesquisa e universidade que colaboram para o desenvolvimento dos modelos



Citações do Relatório Técnico sobre avaliação da performance do modelo MOM6 para o domínio global.	1,2,3	Número de citações em reuniões e relatórios técnico/científicos e/ou outras publicações	- Aumentar o número de citações da análise e avaliação do desempenho do MOM6
--	-------	---	--

9.2.8 - Recursos Solicitados

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					20.800,00

9.2.9 - Equipe do Projeto

Supervisor:

Ronald Buss de Souza (DIMNT)

Colaboradores:

Emanuel Giarolla (DIMNT)

Rosio Camayo Maita (DIMNT)

André Lanfer Marquez (DIMNT)

Fernanda Casagrande (bolsista Projeto SOAC Multiescala, DIMNT)



Projeto 9: CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

Subprojeto 9.3: Previsão de Tempo Estendido no Contexto da Assimilação de Dados por Conjunto

9.3.1 – Introdução

Dentre suas diversas atividades de modelagem e operação, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) é também um centro produtor de previsões numéricas de tempo estendido, com alcance de até 15 dias. O Sistema de Previsões por Conjunto global do CPTEC (SPCON) teve seu início no centro no ano 2000 (Coutinho, 1999) e é gerado a partir da perturbação das condições iniciais do *National Centers For Environmental Predictions* (NCEP), por meio de um algoritmo baseado em Funções Ortogonais Empíricas (EOF, do inglês *Empirical Orthogonal Functions*) para a perturbação da condição inicial controle. Desde o seu início, apesar de algumas melhorias terem sido implementadas, como por exemplo, a regionalização das perturbações e a inclusão de novas variáveis (Mendonça e Bonatti, 2009; Cunnhingham et al., 2015), o SPCON sempre foi executado utilizando a mesma análise controle, proveniente do NCEP (Bastarz, 2016). Mais recentemente, Bastarz (2017) apresentou uma forma alternativa para se melhorar a qualidade das análises do centro, com potencial para aplicações em previsão numérica de tempo. Esta técnica utiliza uma combinação entre uma matriz de covariâncias estática dos erros de previsão, calculada previamente com base nas previsões do modelo - aplicada ao *Gridpoint Statistical Interpolation/3D Variational* (GSI/3DVar), e uma outra, obtida com base no filtro de Kalman por conjunto (EnKF, do inglês *Ensemble Kalman Filter*). Esse sistema, denominado 3DEnVar, é capaz de atualizar as análises utilizadas no ciclo de assimilação de dados utilizando a estrutura do GSI/3DVar, as quais também podem ser exploradas para gerar previsões entre 15 dias e 30 dias. A perspectiva de aplicação deste sistema, permitirá que o centro forneça análises em escala global que possam ser utilizadas também para as previsões que se façam necessárias nas escalas de tempo estendido a subsazonal (S2S, do inglês *Subseasonal to Seasonal*), tal como já fora apresentado por Guimarães et al., (2019 e 2021), mas utilizando um conjunto de análises produzido pelo próprio centro provenientes do Sistema de Modelagem Numérica e Assimilação (SMNA), que integra os desenvolvimentos da assimilação de dados e modelagem em escala global

Este subprojeto trata das atividades necessárias para atingir os objetivos específicos 4 e 5 do Projeto 9 do **CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS** do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 400077/2022-1, disponível na página do INPE.

9.3.2 - Objetivo Geral

Habilitar e aprimorar o sistema híbrido 3DEnVar, utilizando a infraestrutura variacional 3DVar e por conjunto do EnKF provenientes do GSI para previsões de tempo entre 7 e 15 dias, com vistas para a escala S2S.

Os objetivos específicos são:

1. Habilitação e testes do sistema GSI/3DEnVar utilizando a versão operacional do GSI/3DVar em escala global;
2. Verificação da aplicação do sistema GSI/3DEnVar nas escalas de tempo estendido e na escala S2S.

9.3.3 - Insumos

9.3.3.1 – Custeio



Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)
Capacitação em assimilação de dados, previsibilidade e sistemas de previsão por conjuntos	Diárias: R\$20.000 Passagens: R\$30.000	R\$ 50.000

9.3.3.2 – Bolsas

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
9.3.1	Formação em Meteorologia, Matemática, Física ou áreas afins, Profissional com 10 (dez) anos de experiência em projetos científicos, tecnológicos ou de inovação, após a obtenção do diploma de nível superior ou com título de doutor há, no mínimo, 2 (dois) anos; ou ainda, com grau de mestre há, no mínimo, 6 (seis) anos.	Experiência em modelagem e desenvolvimento computacional	1-2	DA	4	1

9.3.4 - Atividades de Execução

Atividades	Objetivo	Indicadores	Metas
------------	----------	-------------	-------

	Específico		Out.	Nov.	Dez.	Jan.
1. Habilitação do GSI/3DVar para funcionar com uma matriz híbrida 3DEnVar.	1	Ciclo de assimilação de dados do GSI/3DEnVar estabelecido.	X	X		
2. Realização de experimento cíclico do GSI/3DEnVar em previsões para até 30 dias.	2	Ciclo do GSI/3DEnVar estável.		X	X	X
3. Elaboração de um relatório científico para a divulgação dos resultados obtidos.	1-2	Produção do relatório científico.	X	X	X	X

9.3.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses			
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.
Atividade 1	X	X		
Atividade 2		X	X	X
Atividade 3	X	X	X	X

9.3.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out.	Nov.	Dez.	Jan.
Diagnóstico do ciclo de assimilação de dados GSI/3DEnVar, utilizando matriz de covariâncias própria	1	Relatório técnico-científico.		X		
Versão GSI/3DEnVar habilitada em escala global que potencialize o impacto da análise global do GSI nas previsões do modelo BAM para escalas de tempo estendido a sazonal.	2	Relatório técnico-científico.				X

9.3.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out.	Nov.	Dez.	Jan.
Aprimoramento da assimilação variacional 3DVar do GSI utilizando o EnKF	1	Versão do SMNA GSI/3DVar fornecendo análises melhores do que o GSI/3DVar		X		
Sistema de assimilação de dados com potencial para ser utilizada na previsão de tempo estendido e escala S2S.	2	Versão do SMNA GSI/3DVar com previsões adequadas para as escalas de tempo consideradas				X

9.3.8 - Recursos Solicitados

9.3.8.1 Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	R\$ 0,00
Passagens	R\$ 0,00
Total (R\$)	R\$ 0,00

9.3.8.2 Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			



Total (R\$)	20.800,00
-------------	-----------

9.3.9 - Equipe do Projeto

Supervisor:

- Carlos Frederico Bastarz

Colaboradores:

- João Gerd Zell de Mattos
- Luiz Fernando Sapucci
- Eder Paulo Vendrasco
- Jose Antonio Aravéquia
- Sergio Henrique Soares Ferreira
- José Paulo Bonatti
- Caio Augusto Coelho

9.3.10 - Referências Bibliográficas consultadas

1. BASTARZ, C. F.; SAPUCCI, L. F.; BONATTI, J. P.; GONÇALVES, L. G. G. Sistema de Modelagem por Conjunto (SMC) (Versão Inicial V0.0). São José dos Campos: INPE, 2016. 98 p. IBI: <8JMKD3MGP3W34P/3M9Q9K5>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/08.17.14.20-NTC). Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3M9Q9K5>>.
2. BASTARZ, C. F. Assimilação de dados global híbrida por conjunto-variacional no CPTEC. 2017. 275 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/06.20.12.39-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2017.
3. COUTINHO, M. M.: Previsão por conjuntos utilizando perturbações baseadas em componentes principais. São José dos Campos, 1999.
4. CUNNINGHAM, C., BONATTI J. P. e M. FERREIRA: "Assessing Improved CPTEC Probabilistic Forecasts on Medium-Range Timescale." Meteorological Applications 22 (3): 378–384. issn: 1469-8080. doi:10.1002/met.1464. <http://dx.doi.org/10.1002/met.1464>. 2015.
5. GUIMARÃES, B. S.; COELHO, C. A. S.; WOOLNOUGH, S. J.; KUBOTA, P. Y.; BASTARZ, C. F.; FIGUEROA, S. N.; BONATTI, J. P.; SOUZA, D. C.: Configuration and hindcast quality assessment of a brazilian global subseasonal prediction system. QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY, v. n/a, p. n/a, 2019.
6. GUIMARÃES, B. S.; COELHO, C. A. S.; WOOLNOUGH, S. J.; KUBOTA, P. Y.; BASTARZ, C. F.; FIGUEROA, S. N.; BONATTI, J. P.; SOUZA, D. C.: An inter-comparison performance assessment of a Brazilian global sub-seasonal prediction model against four sub-seasonal to seasonal (S2S) prediction project models. CLIMATE DYNAMICS, v. 1, p. 1-17, 2021.
7. MENDONÇA, A. M., e J. P. BONATTI: "Experiments with EOF-Based Perturbation Methods and Their Impact on the CPTEC/INPE Ensemble Prediction System." Monthly Weather Review 137 (4): 1438–1459. doi:10.1175/2008MWR2581.eprint:<http://dx.doi.org/10.1175/2008MWR2581>.<http://dx.doi.org/10.1175/2008MWR2581.1>. 2009.



Projeto 9: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Subprojeto 9.4: Pesquisa e desenvolvimento da componente física do modelo unificado MONAN – microfísica de nuvens.

9.4.1 – Introdução

A necessidade de prover a sociedade com informações de alta qualidade de previsão de tempo, clima sazonal e sub-sazonal é fundamental para minimizar os impactos socioeconômicos de fenômenos meteorológicos e climáticos que estão ocorrendo e poderão continuar a ocorrer nos próximos anos. Assim, o contínuo desenvolvimento de ferramentas e modelos atmosféricos é essencial para contribuir na aumentar o entendimento do sistema e fornecer melhores previsões de tempo e clima. Os modelos atmosféricos são compostos de complexas equações que representam o comportamento caótico e não linear do sistema e ao mesmo tempo inclui várias componentes que simulam outros processos físicos e químicos que ocorrem na atmosfera terrestre.

Uma adequada representação dos processos físicos úmidos da atmosfera nos modelos numéricos é de grande importância para uma representação realista da mesma. Historicamente, estes processos tem sido divididos em convecção profunda, convecção rasa e microfísica de nuvens, mais recentemente incluiu-se a camada limite úmida. O problema de microfísica de nuvens (microfísica) que trata as mudanças de fase da água na atmosfera e interage fortemente com os aerossóis, a transferência radiativa, entre outros, foi cronologicamente desenvolvido em paralelo com o de convecção profunda, mas que devido às limitações computacionais ficou restrito a modelos numéricos de área bastante limitada. Com o avanço em pesquisas básicas e de aspectos tecnológicos, a microfísica em versões simplificadas do tipo bulk foi portada para modelos globais na década de 1990 com adaptações específicas para modelos globais (e.g. Rotstayn, 1997). Os pontos importantes que possibilitaram a portabilidade foi uma melhor compreensão da interação entre escalas (Charney, 1948; Arakawa 2004), assim como uma maior familiaridade com os aspectos numéricos e suas adaptações necessárias. Por meio da microfísica foi possível incluir aspectos físicos como a distribuição das gotas de nuvem, gelo e vapor de água tanto em número como em massa, e como esta distribuição afeta outras componentes, tais como a convecção, processos radiativos, precipitação líquida e sólida, distribuição da temperatura, turbulência e fluxos de calor e momento (Manton and Cotton, 1977). As pesquisas em microfísica tem evoluído e no decorrer do desenvolvimento foram aplicadas para diversos problemas onde se ressaltou sua contribuição no desenvolvimento tanto de tempestades com forçamentos locais, como de precipitação associada com sistemas convectivos deslocantes com forçamento remoto (Hong and Lim, 2006; Morison, Thompson and Tatarskii, 2009). A aplicação da microfísica nos modelos tem contribuído a uma maior correspondência dos dados modelados e dados obtidos via sensoriamento remoto, tanto em distribuições espaciais instantâneas, como da correspondente evolução temporal.

O desenvolvimento do modelo numérico MONAN (Model for Ocean, Land, Atmosphere prediction) atualiza o compromisso com a sociedade mediante a incorporação da avanços no conhecimento dos processos físicos e de técnicas computacionais modernas. MONAN visa prever as condições nas escalas temporais desde umas poucas horas, para dias, meses, anos e décadas. Este desenvolvimento deve incorporar melhoras em referência a seus antecessores em termos de qualidade de seus produtos, flexibilidade de uso e eficiência computacional. O desenvolvimento comunitário abre as portas para uma cultura de desenvolvimento na América latina. O modelo tem como finalidade de contribuir a salvaguardar e mitigar possíveis prejuízos à população provocados por fenômenos associados com as condições atmosféricas e oceânicas. Tal desafio tem se tornado mais relevante com o aumento da frequência de eventos extremos tanto de precipitação, estiagens, ou inclusive extremos de temperatura. Eventos extremos tem sido verificados tanto em nível global, regional e local. Entre 2013 e 2022, o Brasil registrou milhares de desastres naturais e os prejuízos ultrapassam R\$ 341,3 bilhões. Os dados são de estudo da Confederação Nacional de Municípios (CNM) incluindo secas e excessos de chuvas. Segundo um levantamento da Fiocruz para um período mais longo (de 15 anos), os desastres associados com a hidrologia, responderam por 88.5% dos custos totais. Dentro destes extremos, aqueles associados com precipitações intensas que

em poucas horas alcançaram volumes que ultrapassaram por muito as normais mensais, temos os eventos de Minas Gerais 2020; Petrópolis Fevereiro de 2022; São Sebastião, no litoral de São Paulo, Fevereiro 2023 e ou de Bertioga (também em 2023). Estudos como o de Hong e Lim 2006 mostram que os volumes de precipitação simulados pelos modelos podem ser afetados pela complexidade com que são tratados as variáveis da microfísica, e pelos processos físicos implementados, em particular Hong e Lim, 2006 modificaram processos associados com o granizo, assim como também alteraram de forma conveniente a ordem no qual os processos da microfísica são utilizados dentro do modelo numérico e com isto obtiveram uma melhor representação ao interior das nuvens tanto na distribuição vertical da temperatura e umidade, como da precipitação sob o solo. Isto impactou nos fluxos de calor sensível e latente, na transferência radiativa e na turbulência da camada limite. Desta forma, este tipo de pesquisas transitam entre o que pode ser considerado como pesquisas básicas e as aplicadas, tendo assim um papel importante na geração de conhecimento e formação de capacidades em termos de recursos humanos. Por outro lado, devido a que se estipula que o modelo MONAN possa ser aplicado para diversas escalas espaciais e temporais, e já é reconhecido que o grau de complexidade muda de acordo com a escala escolhida (Arakawa, 2004; Grell e Freitas, 2014), pois existe um compromisso entre as limitações do poder computacional e a velocidade com que a solução é requerida. Assim, para que a representação dos processos físicos a serem incluídos no modelo possam ter validade para as diferentes situações propostas. Se faz altamente necessário desenvolver as capacidades para contribuir com o desenvolvimento e para afrontar tal enorme e importante tarefa de forma adequada.

Propõe-se a construção de uma interface e um framework que permitam testar as vantagens de diferentes códigos de microfísica em diferentes situações e experimentos idealizados relevantes para a região e para o Brasil, e desta forma gerar conhecimento útil para a escolha da suite de parametrizações físicas a serem escolhidas para o MONAN com ênfase na microfísica de nuvens. Os resultados científicos serão obtidos através de experimentos numéricos, que indicarão o comportamento e a sensibilidade das componentes das diferentes parametrizações de microfísica. Estes resultados deverão ser reportados mediante relatórios científicos contribuindo para a disseminação dos conhecimentos adquiridos durante a execução do projeto.

9.4.2 - Objetivo Geral

O objetivo geral deste subprojeto está de acordo com o Projeto 9 do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 444327/2018-5, disponível na página do INPE, e está vinculado ao objetivo específico 1 do Projeto Institucional da Área referente a desenvolver e aprimorar o modelo unificado atmosférico global, que seja útil para os sistemas de previsão de tempo e clima nas diversas escalas de espaço e tempo, conforme a apresentação exibida do Plano Diretor 2020-2023. Portanto, este subprojeto compreende em desenvolver atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de meteorologia, climatologia, hidrologia, meio ambiente, com ênfase em técnicas de modelagem da microfísica de nuvens. **Nas suas bases, o presente projeto busca desenvolver capacidades tanto em termos de recursos humanos, assim como de uma componente de aplicação. Com isto se espera contribuir na racionalização da escolha da microfísica a ser implementada no modelo MONAN e de se aproximar a um desenvolvimento contínuo das parametrizações de microfísica mediante a obtenção de um produto que possa auxiliar nos experimentos numéricos, e na quantificação da sensibilidade do modelo aos parâmetros microfísicos em futuras implementações.**

Objetivos Específicos:

Objetivo Específico 1: Estruturar um plano de desenvolvimento contínuo dos esquemas de microfísica de nuvens

1. Objetivo Específico 1.1: Criar e disponibilizar uma interface comum em Fortran e/ou Python para alguns dos principais códigos de microfísica de nuvens do tipo bulk disponíveis e utilizados na comunidade internacional (Morrison, Thompson 2007,

Thompson 2009, WSM6 e WDM6). A interface deve ter seu respectivo makefile e ao mesmo tempo ser de fácil utilização por pesquisadores e alunos de graduação e pós-graduação.

2. Objetivo Específico 1.2: Documentar de forma sucinta em relatório padrão INPE as principais diferenças entre os esquemas de microfísica de nuvens acima citados.
3. Objetivo Específico 1.3: Desenvolver, testar e documentar experimentos numéricos simplificados (bidimensionais) com a interface, assim como com scripts para visualização dos resultados. Estes experimentos podem guiar na racionalização do potencial melhor esquema levando em conta as características identificadas no OE1.1 e OE1.2.

9.4.3 - Insumos

9.4.3.1 – Custeio
 não se aplica

9.4.3.2 – Bolsas

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
9.4.1	Doutorado em Meteorologia, Física ou áreas afins	Modelagem numérica atmosférica	1	DA	4	1

9.4.4 - Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas
			2023-4
1) A partir dos código de parametrização de microfísica de nuvens usados nos modelos numéricos abertos, criar e disponibilizar uma interface comum para os diferentes códigos	1.1	A elaboração da interface para compilar e executar em ambiente Linux, consolidará o domínio prático; Os desenvolvimentos serão reportados em repositórios públicos.	- Selecionar os códigos a serem utilizados; - Escolher o tipo de programação de objetos que será seguido,; - Acompanhamento em repositórios e controle de versão; -Revisão da bibliografia dos códigos escolhidos. -Elaboração da interface e sua disponibilização.
2) Documentar as principais diferenças entre os esquemas de microfísica de nuvens	1.2	Finalização do relatório onde possa ser distinguido as principais diferenças entre os códigos incluídos. As escolhas feitas para a codificação/construção da interface também deverão ser aqui justificadas	- Elaboração de relatório padrão INPE permitirá o benefício de outros colaboradores; - As informações utilizadas nas etapas de seleção de códigos, abstração de programação e referências bibliográficas contribuirão

3) Desenvolver, testar e documentar experimentos numéricos simplificados com a interface para servir de guia na racionalização do potencialmente melhor esquema e das possíveis causas associadas as características identificadas no OE1.2.	1.3	A execução de pelo menos dois experimentos numéricos onde possa ser verificada a validade da proposta do trabalho tanto em condições de convecção local assim com em condições de propagação remota.	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção de dois experimentos para representarem as condições escolhidas relevantes para a região e o Brasil; - Implementação destes experimentos para alimentar a interface (framework); - Seleção das variáveis a serem implementadas; - Elaboração dos scripts para visualização.
--	-----	--	--

9.4.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses							
	2023-4							
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
1) A partir de códigos/modelos numéricos de diversas fontes serão identificados os aspectos necessários para a construção da interface. Com ênfases nas microfísicas que não estão presentes nos modelos que o CPTEC já desenvolve.					x	x	x	x
2) A construção da interface estará acompanhada de documentação que servirá para a elaboração do relatório					x	x	x	x
3) Implementação de um framework que permita realizar simulações simplificadas com forçamento local								
4) Implementação de um framework que permita realizar simulações simplificadas com forçamento remoto					x	x	x	

9.4.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades [1].

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas							
			Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dec	Jan

Relatório técnico sobre a interface, o framework e as microfísicas selecionadas	1	Relatório técnico apresentado								Finalização de relatório técnico
Framework da interface para experimentos com forcamento local	1	Software					Entrega do Software			
Framework da interface para experimentos com forcamento remoto	1	Software					Entrega do Software			
Interface para os esquemas de microfísica escolhidos	1	Software						Entrega do Software		

9.4.7 – Resultados Esperados

Os resultados são mudanças observadas no curto prazo sobre indivíduos, grupos ou instituições, como resultado da intervenção realizada [1].

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas						
			Ago	Set	Out	Nov	Dec	Jan	
Relatório técnico sobre a interface, o framework e as microfísicas selecionadas	1	Relatório técnico apresentado			Permitirá consultas no desenvolvimento e pode criar um padrão para desenvolvimentos de outras componentes físicos do modelo; Documentação em controles de versão públicos pode atingir maior número de colaboradores e interessados.				
Framework da interface para experimentos com forcamento local	1	Software			Possibilidade de estudos comparativos das parametrizações de microfísica no caso de desenvolvimentos locais; Familiarização com códigos utilizados na comunidade internacional; Sugerir possíveis mudanças partindo dos experimentos realizados; Identificação do esquema que brinda melhores alternativas para ser implementado no MONAN.				



Framework da interface para experimentos com forçamento remoto	1	Software			Possibilidade de estudos comparativos das parametrizações de microfísica no caso de desenvolvimentos com forçamento remoto; Sugerir possíveis mudanças partindo dos experimentos realizados; Identificação do esquema que brinda melhores alternativas para ser implementado no MONAN.
Interface para os esquemas de microfísica escolhidos	1	Software			Permitira implementações diretas no MONAN e inclusive facilitaria alternativas para os usuários.

9.4.8 - Recursos Solicitados

Custeio:
Não se aplica

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					20.800,00

9.4.9 - Equipe do Projeto

Supervisor: Enver Ramirez

Colaboradores:

Paulo Kubota (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)
Saulo Freitas (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)
Silvio Nilo Figueroa (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)
Jorge Gomes (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)
Jose Paulo Bonatti (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)
Denis Eiras (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)
Eduardo Khamis (INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Brasil)

9.4.10 - Referências Bibliográficas

Arakawa A: The cumulus parameterization problem: Past, present and future. *J. Climate*, 17, 2493-2525, 2004.

Charney J.G.: On the scale of atmospheric motions, *Geofysiker Publikasjoner*, vol 17, no 2, 1948.

Grell G. and S.R.Freitas: A scale and aerosol aware stochastic convective parameterization for weather and air quality modeling, *Atmos. Chem. Phys.* 14, 2014.

Hong S.-Y. And Lim J.-O. J.: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *Journal of the Korean Meteorological Society*, 42, 2, 129-151, 2006.

Manton M.J. and Cotton W.R.: Formulation of approximate equations for modeling moist deep convection on the mesoscale, paper no 266 Colorado State University, 1977

Morrison H.; G. Thompson and V. Tatarskii: Impact of Cloud Microphysics on the Development of Trailing Stratiform Precipitation in a Simulated Squall Line: Comparison of One- and Two-Moment Schemes, <https://doi.org/10.1175/2008MWR2556.1>, *Monthly Weather Review*, 2009

Rotstayn L.: A physically based scheme for the treatment of stratiform clouds and precipitation in large-scale models I: Description and evaluation of the microphysical processes. *Q.J.R.Meteorol.Soc.*, 123, 1227-1282, 1997

Outras Fontes:

Fiocruz:

<https://www.bio.fiocruz.br/index.php/br/noticias/2229-pesquisa-avalia-impactos-e-custos-de-desastres-naturais-no-brasil>

CNM: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/em-quase-10-anos-municipios-acumulam-r-341-3-bilhoes-de-prejuizos-causados-por-desastres-naturais>

PROJETO 9: CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

Subprojeto 9.5: Estudo da interação dos processos turbulentos-convecção-microfísica através de grandes turbilhões (*Large-eddy simulation-LES*)

9.5.1 – Introdução

Nas últimas décadas houve avanços significativos no desenvolvimento dos modelos globais de previsão numérica de tempo (PNT) como resultado de novos conhecimentos, novos sistemas de observação de dados (melhoria em sistemas de assimilação de dados) e avanços tecnológicos na supercomputação. Estes avanços científico-tecnológicos dos últimos anos, têm permitido uma revolução na PNT global em latitudes médias, com previsões confiáveis de até com 10 dias de antecedência. Entretanto, nas regiões subtropicais e tropicais (incluindo a América do Sul) a melhoria da PNT e previsão de clima subsazonal e sazonal tem sido pequeno. Eventos extremos de chuvas intensas e secas severas em diferentes regiões de Brasil tem ocorrido recentemente com muitas perdas humanas e econômicas, e os modelos numéricos (incluindo modelos globais, regionais e acoplados, americanos, europeus e brasileiros) não conseguiram fazer as previsões destes eventos. Exemplos de eventos extremos de tempo não previstos, Rio de Janeiro, Petrópolis (fevereiro, 2022) e Bahia (dezembro 2022), e exemplo de eventos extremos de clima, as secas prolongadas de Nordeste 2012-2017 e Sudeste 2020-2022. Porque nas regiões tropicais e subtropicais, em especial na América do Sul todos os modelos falham na previsão de eventos extremos de tempo e clima?

Uma hipótese é a falta de uma dinâmica adequada (para a complexa topografia da América do Sul) e/ou a falta de parametrizações físicas realistas (para trópicos e subtópicos) nos modelos numéricos atmosféricos. O foco deste projeto é explorar esta segunda parte, os processos físicos. As parametrizações devem simular bem o processo de desenvolvimento das nuvens na região tropical (exemplo na Amazonia) e subtropical (exemplo no sul do Brasil/Uruguai/Norte da Argentina, conhecida como a região de La Plata), em especial no seu ciclo diurno. A maioria das parametrizações físicas (tais como convecção, microfísica e camada limite planetária-PBL) foram desenvolvidas para latitudes médias, onde a propagação das ondas de Rossby são dominantes na circulação atmosférica de grande escala. Entretanto, nos trópicos, as ondas tropicais, tais como ondas de Rossby, Kelvin, gravidade, e mistas Rossby-gravidade são dominantes, e existe uma interação dentre elas, o que torna complexo a representatividade das parametrizações dos processos físicos, em especial das nuvens convectivas que dependem muito das condições de grande escala. Aqui nossa proposta é entender os mecanismos físicos que estão detrás do desenvolvimento das nuvens convectivas, usando um modelo de nuvens chamado de 'Simulações de grandes turbilhões' (em inglês, *Large-eddy simulation-LES*) com grade horizontal ≤ 100 m. Existem vários modelos LES na comunidade internacional, entretanto, no CPTEC nos últimos anos se tem investido no modelo SAM (System for Atmospheric Modeling, Khairoutdinov and Randall, 2003; Khairoutdinov, 2022) que tem opção para usar LES (SAM/LES) com diferentes opções de esquemas de turbulência e microfísica. Dr. Marat Khairoutdinov que desenvolveu este modelo visitou ao CPTEC e treinou pesquisadores do INPE. Assim, a grande vantagem de usar este modelo de nuvens, é a experiência obtida através de vários trabalhos. Exemplos, Gonçalves et al. 2022, Manco e Figueroa 2023 (submetido).

Portanto, o foco deste projeto é entender os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos no desenvolvimento das nuvens convectivas, seu ciclo diurno e suas interações com os processos turbulentos e microfísicos através de uso de um modelo de nuvens SAM/LES, com dados dos experimentos GoAmazon (trópico, Giagrande et al. 2017) e RELAMPAGO (subtrópico, Nesbitt et al. 2021) para contribuir na melhora das parametrizações da PBL, convecção e Microfísica no futuro modelo do INPE, MONAN (Model for Ocean, Land, Atmosphere prediction).

Os novos estudos com relação aos trabalhos anteriores ou em andamento são: 1) estudo das interações entre os diferentes processos físicos na Amazônia, que ainda não foram estudadas (exemplos, interações PBL-convecção e convecção-microfísica, 2) a inclusão do recente experimento de campo, RELAMPAGO na região de La Plata, que permitira estudar a formação



de nuvens convectivas severas com formação de granizo no Sul do Brasil, e 3) a formação de nuvens convectivas noturnas no Sul do Brasil que ainda não está entendida. Estes estudos na região de La Plata, permitiram melhorar as parametrizações da simulação de sistemas convectivos de mesoescala (SCMs) que ocorrem com frequência no Sul do Brasil.

Este subprojeto consta no Projeto 09 - PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS ESPACIAIS E SUAS APLICAÇÕES do Programa de Capacitação Institucional (PCI) 2018-2023, número 444327/2018-5, disponível na página do INPE.

Este projeto está vinculado ao TAP: Modelo MONAN.

9.5.2 - Objetivo Geral

Estudar os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos que favorecem o desenvolvimento das nuvens convectivas, seu ciclo diurno e suas interações com processos turbulentos e microfísicos na região tropical e subtropical usando um modelo de nuvens e dados de experimentos de campo. A importância deste projeto é contribuir no desenvolvimento das parametrizações físicas de PBL, convecção e microfísica do futuro modelo comunitário do INPE, MONAN.

9.5.2.1 Objetivos específicos

- 1) Treinamento do novo bolsista a usar o modelo de nuvens SAM/LES com dados do experimento GoAmazon2014/15
 - a) Instalação do modelo e seus sistemas de pré-processamento e pós-processamento;
 - b) Simulações de formação da convecção rasa e profundas, e reproduzir os experimentos já feitos.

- 2) Interação de PBL com nuvens convectivas rasas.
 - a) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens a diferentes esquemas de PBL.
 - b) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens com diferentes forçantes da superfície (mudanças nos fluxos de calor latente e sensível e umidade de solo).

- 3) Interação de PBL com nuvens convectivas profundas.
 - a) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens a diferentes esquemas de PBL.
 - b) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens com diferentes forçantes da superfície (mudanças nos fluxos de calor latente e sensível e umidade de solo).

- 4) Impacto da Microfísica na formação de nuvens rasas.
 - a) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens a diferentes esquemas de Microfísica.
 - b) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens com diferentes PBLs e microfísicas

- 5) Impacto da Microfísica na formação de nuvens profundas.
 - a) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens a diferentes esquemas de Microfísica.
 - b) Estudos de sensibilidade da formação das nuvens com diferentes PBLs e microfísicas



6) Repetir os estudos de impacto de 3 e 5, PBL e microfísica nas nuvens convectivas profundas com dados do experimento RELAMPAGO.

- a) Nuvens profundas noturnas-PBL-Microfísica
- b) Nuvens profundas diurnas-PBL-Microfísica

9.5.3 - Insumos

9.5.3.1 – Custeio.

Não se aplica.

9.5.3.2 – Bolsas

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
9.5.1	Formação em Meteorologia, Matemática, Física ou áreas afins, com 10 (dez) anos de experiência em projetos científicos, tecnológicos ou de inovação após a obtenção do diploma de nível superior, ou com título de doutor em Meteorologia, Matemática, Física ou áreas afins há, no mínimo, 2 (dois) anos; ou ainda, com grau de mestre em Meteorologia, Matemática, Física ou áreas afins há, no mínimo, 6 (seis) anos.	Experiência com LINUX, programação em Fortran (para trabalhar com modelos) e python (para gráficos). Experiência básica com métodos numéricos. Ter interesse e motivação para estudar a formação de nuvens.	1	D-A	4	1

9.5.4 - Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	out2023- jan2024
------------	---------------------	-------------	---------------------

1) Treinamento com modelo de nuvens SAM/LES com dados do experimento GoAmazon2014/15	1a, 1b	Treinamento realizado	Instalar o modelo de nuvens. Realizar experimentos de teste
2) Interação de PBL com nuvens convectivas rasas.	2a, 2b	Experimentos da interação PBL-nuvens rasas realizados	Realizar experimentos da interação PBL-nuvens
3) Interação de PBL com nuvens convectivas profundas.	3a, 3b	Experimentos da interação PBL-nuvens profundas realizados	Realizar estudos da interação PBL-nuvens profundas
4) Impacto da Microfísica na formação de nuvens rasas.	4a e 4b	Experimentos de Microfísica na formação de nuvens rasas realizados	Realizar experimentos com microfísica na formação de nuvens rasa
5) Impacto da Microfísica na formação de nuvens profundas.	5a,5b	Experimentos, de impacto da Microfísica na formação de nuvens profundas realizadas	Realizar experimentos com microfísica na formação de nuvens profundas
6) Experimento RELAMPAGO.	6a,6b	Experimentos de RELAMPAGO realizadas	Realizar experimentos com dados de RELAMPAGO

9.5.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses			
	out2023-jan2024			
	outubro	novembro	dezembro	janeiro
Atividade 1	X			
Atividade 2	X	X		
Atividade 3		X	X	
Atividade 4			X	
Atividade 5				X
Atividade 6				X

9.5.6 – Produtos

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	out2023-jan2024
			Treinamento com LES/SAM realizado



Estudo da interação PBL-nuvens rasas realizado	2a, 2b	Relatório PBL-convecção rasa	Estudo da interação PBL-nuvens rasas realizado
Estudo da interação PBL-nuvens profundas realizado	3a, 3b	Relatório PBL-convecção profunda	Estudo da interação PBL-nuvens profundas realizado
Estudo do impacto da Microfísica na formação de nuvens rasas realizado	4a, 4b	Relatório Microfísica-convecção rasa	Estudo Microfísica-nuvens rasas realizado
Estudo do impacto da Microfísica na formação de nuvens profundas realizado	5a, 5b	Relatório Microfísica-convecção profunda	Estudo Microfísica-nuvens profundas realizado
Estudo das nuvens com dados do experimento RELAMPAGO realizados	6a, 6b	Relatório Experimento RELAMPAGO	Estudo das nuvens do experimento RELAMPAGO realizados

9.5.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	out2023-jan2024
Treinamento com LES/SAM realizado	1a, 1b	Relatório revisado	Os resultados de treinamento avaliados
Estudo da interação PBL-nuvens rasas finalizado	2a, 2b	Relatório publicado	Interação PBL-nuvens rasas avaliada
Estudo da interação PBL-nuvens profundas finalizado	3a, 3b	Relatório publicado	A interação PBL-nuvens profunda avaliada
Estudo do impacto da Microfísica na formação de nuvens rasas finalizado	4a, 4b	Relatório publicado	O impacto da microfísica nas nuvens rasas avaliado



Estudo do impacto da Microfísica na formação de nuvens profundas finalizado	5a, 5b	Relatório publicado e um artigo submetido	O impacto da microfísica nas nuvens profundas avaliado
Estudo das nuvens com dados do experimento RELAMPAGO finalizado	6a, 6b	Relatório entregue	O impacto da PBL e microfísica nas nuvens convectivas no subtópico avaliado.

9.5.8 - Recursos Solicitados

9.5.8.1 Custeio.

Não se aplica

9.5.8.2 Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					20.800,00

9.5.9 - Equipe do Projeto

Coordenador: Silvio Nilo Figueroa

Colaboradores:

Paulo Kubota (pesquisador INPE)

Enver Ramirez (pesquisador INPE)

Paulo Bonatti (pesquisador INPE)

Haroldo Campos (pesquisador INPE)

Paulo Antunes (aluno de doutorado da PGMET)

Colaboração de instituições externas ao INPE

Universidade UNIPAMPA (camada limite planetária-PBL)

Universidade Estadual de Ceara (microfísica)

Universidade Federal de Rio de Janeiro (microfísica)

NCAR-USA (microfísica)

UKMET-UK (convecção)

Stony Brook University, USA (SAM/LES)

9.5.10 - Referências Bibliográficas

Giangrande, S. E., et al., 2017. Cloud characteristics, thermodynamic controls and radiative impacts during the Observations and Modeling of the Green Ocean Amazon (GoAmazon2014/5) experiment, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 14519–14541, <https://doi.org/10.5194/acp-17-14519-2017>.

Goncalves, L. J. M., Coelho, S. M. S. C., Kubota, P. Y., and Souza, D. C., 2022. Interaction between cloud-radiation, atmospheric dynamics and thermodynamics based on observational data from GoAmazon 2014/15 and a cloud-resolving model, *Atmos. Chem. Phys.*, 22, 15509-15526, <https://doi.org/10.5194/acp-22-15509-2022>.

Nesbitt, S. W., Salio, P. V., Ávila, E., Bitzer, P., Carey, L., Chandrasekar, V., ... & Grover, M. A., 2021. A storm safari in subtropical South America: Proyecto RELAMPAGO. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(8), E1621-E1644.

Manco J.A.A and S.N. Figueroa, 2023. Large-Eddy Simulations of the Diurnal Cycle of Shallow Cumulus in the Central Amazon. Submitted to *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* (JAMES).

Khairoutdinov, M. F., and D. A. Randall, 2003. Cloud resolving modeling of the ARM summer 1997 IOP: Model formulation, results, uncertainties, and sensitivities, *J. Atmos. Sci.*, 60(4), 607–625. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2003\)060<0607:CRMOTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2003)060<0607:CRMOTA>2.0.CO;2)

Khairoutdinov, M. F., Blossey, P. N., & Bretherton, C. S., 2022. Global System for Atmospheric Modeling: Model Description and Preliminary Results. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, e2021MS002968.



Projeto 10: PROJETO INTEGRADOR DO COCST PARA MUDANÇAS AMBIENTAIS

Subprojeto 10.1: Desenvolvimento e aplicação de ferramentas para processamento e interpretação de base de dados de grande volume de gases de efeito estufa do projeto CARBAM

10.1.1 – Introdução

O Projeto atual denominado “*Variação Interanual do Balanço de Gases de Efeito Estufa na Bacia Amazônica e seus controles em um mundo sob aquecimento e mudanças climáticas/ Estudo de Longo termo do Balanço do Carbono da Amazônia*” TAP (processo SEI: 01340.007294/2021-45) tem como objetivo estudar o Balanço de CO₂, CH₄, N₂O e CO da Amazônia (saldo entre as emissões e absorções) e estudo do impacto da ação humana e da variação climática nos processos de absorção e emissão destes gases na Amazônia.

A Amazônia representa mais de 50% das Florestas tropicais do planeta e necessita de estudos sobre seu papel no Balanço Global de Carbono e demais Gases de Efeito Estufa. A variabilidade tanto ao longo do ano, como de ano para ano é muito grande, o que demonstra necessitar de estudos que tenham longa representatividade temporal, além da representatividade Geográfica.

Além da importância de se elucidar esta informação, ainda temos questões de extrema importância: Qual o efeito das mudanças climáticas na Amazônia? e qual a contribuição da Amazônia nas mudanças climáticas, devido as mudanças do uso da terra que ocorrem na Amazônia?

Para se responder a estas questões necessitamos de estudos que tenham duas importantes características: Representatividade Espacial e temporal. Estudos utilizando perfis de avião tem a representatividade regional, necessária para representar a Amazônia, no entanto, quando falamos de ciclo de carbono necessitamos de no mínimo uma década de estudos.

O propósito principal deste projeto é determinar as consequências e efeitos da variação climática e da ação humana no balanço de GEE da Amazônia, causando alterações nos processos de absorção de gás carbônico e emissão de metano e demais gases pela floresta, bem como os efeitos do aumento da pressão humana direta.

Sua execução será realizada principalmente através da coleta regular de perfis verticais de amostras atmosféricas, utilizando aviões de pequeno porte. A estratégia de amostragem utilizando perfil vertical fornece uma representação em escala regional, para permitir a obtenção de uma média consistente sobre o que a Amazônia representa no balanço global de carbono e demais GEEs. Este projeto propõe uma observação de longo tempo (5 anos, somando-se a série iniciada em 2010), uma vez que a Amazônia apresenta grande variabilidade ano a ano no balanço de carbono, portanto é necessário um longo tempo de estudo para se obter uma média do balanço dos gases de efeito estufa. Quatro regiões de estudo com avião foram escolhidas para representar a maior parte da região Amazônica.

Serão realizadas aproximadamente 2 coletas de perfis verticais por mês (de 300m até 4500m) nas 4 localidades escolhidas. As localidades de estudo denominados de RBA (9.38°S 67.62°O) representando a região sudoeste-centro, TEF (3.39°S 65.6°O) região noroeste-centro, ALF (8.80°S 56.75°O) região sudeste e SAN (2.86°S 54.95°O) região nordeste. Os perfis verticais nestas 4 regiões conferem uma representatividade em torno de 80% da Pan-Amazônia, pois o ar entra pela costa brasileira, no litoral norte/nordeste do nosso continente, e atravessa toda a Amazônia, recebendo assim todas as contribuições de emissão e absorção dos Gases de Efeito Estufa ao longo da trajetória, representando a resultante de todos estes processos.

Juntamente com as medidas dos GEE e determinação de seus fluxos, serão estudadas variantes climáticas (precipitação, temperatura, quantidade de água no solo, déficit de vapor de água, etc) e outros parâmetros (área queimada, índice de verde da folhagem, etc) para se entender quais fatores afetam as emissões e absorções destes gases.

O entendimento destas correlações vai fornecer subsídios para tomada de decisão sobre a preservação da floresta e a ocupação e uso do solo em sua região.

Estes objetivos estão alinhados aos **Objetivos Estratégicos OE-19, OE-17 e OE-14 do Plano Diretor do INPE 2022-2026**, pesquisas que auxiliam na formulação de cenários de mudanças climáticas e ambientais futuras, que incluem além do ambiente físico as componentes



socioeconômicas, contribuindo com as metas assumidas pelo país em relação aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, da ONU.

10.1.1.2. Introdução do subprojeto

Os estudos do Projeto CARBAM utilizando perfis de avião em 4 localidades da Amazônia, geraram e ainda geram um grande volume de dados de concentrações de gases de efeito estufa. Dentre os gases medidos pelo projeto, estão os valores de concentração de alguns gases, tais como CO₂, CH₄, N₂O, CO, além do uso de parâmetros meteorológicos, dados de desmatamento, área queimada, e outros parâmetros importantes para a interpretação da funcionalidade da floresta Amazônica, tais como: déficit de vapor de água, quantidade de água no solo, índice de crescimento de vegetação, etc.

Devido a grande importância do papel da Amazônia no Balanço Global de Carbono e demais gases do efeito estufa, além da variabilidade do balanço de carbono ao longo do ano e também entre os anos de uma longa série temporal (2010-2021), este estudo busca contribuir com o entendimento sobre as pressões sobre a floresta Amazonia e suas alterações, desenvolvendo ferramentas que irão acelerar o processamento e tratamento dos dados medidos e encurtar os caminhos/etapas de cálculo hoje empregadas pelo grupo, trazendo agilidade na interpretação dos resultados e por fim potencializando os estudos desenvolvidos pelo grupo;

O subprojeto tem como objetivo dar suporte ao projeto CARBAM, propondo o desenvolvimento de ferramentas que facilitem o processamento e a interpretação de uma grande base de dados, para auxiliar o diagnóstico dos principais fatores responsáveis pelas alterações no balanço de carbono que estão ocorrendo na Amazônia.

10.1.2 - Objetivo Geral

O objetivo geral do projeto está vinculado às metas do Plano Diretor, especificamente às metas M-19.1 e M-19.5, já que a obtenção do balanço de carbono com base em perfis verticais atmosféricos envolve o desenvolvimento e a integração entre as atividades de observação e modelagem atmosféricas, promovendo a expansão da capacidade institucional e o uso e análise dos dados de perfis verticais de GEE e o modelo de integração de coluna possibilitam a determinação do balanço de GEE e o entendimento das variáveis que interferem nestes processos fundamentais do sistema terrestre. Além disso, se enquadram aos Objetivos Específicos 2 e 7 do Projeto 10 PCI 2018-2023, número 444327/2018-5), como:

Construir uma base de dados confiável, com histórico e perspectiva futura (longo prazo), que permitam captar os efeitos de mudanças ambientais globais, trazendo as informações ao domínio público para subsidiar as pesquisas científicas e as tomadas de decisão;

Gerar dados para subsidiar não somente os objetivos estratégicos do Centro como também a modelagem do Sistema Terrestre, a construção de cenários e diagnósticos da ação antrópica no meio, bem como outras áreas do INPE;

Disponibilizar produtos para todos os segmentos da sociedade brasileira bem como para os tomadores de decisão nas diferentes esferas, tanto do setor privado quanto do Governo;

Estudo das variáveis climáticas na bacia Amazônica;

Estudar as correlações entre as variáveis climáticas e os fluxos calculados para cada perfil de avião, considerando a área de influência de cada perfil de avião.

Este objetivo geral contempla as seguintes atividades:

Consolidar as redes de observação contínua de variáveis ambientais envolvendo gases traço, gases de efeito estufa, envolvendo os ciclos do carbono, nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, aerossóis, descargas elétricas atmosféricas, estimativa de biomassa, componentes do ciclo hidrológico (p.e. transpiração, umidade do solo), entre outros, nos diferentes biomas do Brasil;

Associado ao objetivo geral, propõe-se neste subprojeto os seguintes objetivos específicos:

Objetivo Específico 1:

Construir uma base de dados, com histórico e perspectiva futura (longo prazo), que permita captar os efeitos de mudança do uso da terra e das mudanças climáticas na floresta



Amazônica e seu papel atual no ciclo global do carbono, trazendo as informações ao domínio público para subsidiar as pesquisas científicas e as tomadas de decisão;

Objetivo Específico 2:

Desenvolver ferramentas para facilitar e agilizar as etapas de processamento e interpretação de todos os gases medidos pelo LaGEE (CO₂, CH₄, N₂O, CO) a fim de entender o efeito da variação do clima e das ações antrópicas na resposta da Amazônia, utilizando variáveis tais como: temperatura, precipitação, índice de água no solo, índice de crescimento de vegetação, área queimada e outras variáveis, dentro das áreas de influência de cada local de estudo com perfil de avião na Amazônia, e desenvolver e aplicar os modelos de preenchimento de dados faltantes na serie histórica

Objetivo Específico 3:

Entender o impacto das variáveis estudadas nas emissões e absorções de GEE, utilizando as ferramentas de matriz de correlação de todos os dados empregando método de Pearson ou similar, para se poder enxergar a correlação entre os dados e os agrupamentos hierárquicos. Em seguida os dados serão tratados para se criar a análise dos componentes principais (PCA), que utiliza critérios de agrupamentos para identificar relações mais fortes entre grupos de variáveis, sejam de forma direta ou indireta. Os dados serão tratados por algoritmos classificadores, tais como o Boruta, visando avaliar o grau de importância na alteração de propriedades chave (ex. temperatura, precipitação, entre outras) frente a todas as variáveis do banco de dados. Todas as etapas do projeto serão conduzidas empregando-se a Linguagem R de código aberto.

10.1.3 - Insumos

10.1.3.1 – Custeio

Para a demanda atual, considerando bolsas de 8 meses, não se pleiteia valores de custeio.

Finalidade	Item de Custeio (diárias/passagens)	Valor (R\$)

10.1.3.2 – Bolsas

Esta área tem uma característica interdisciplinar onde o profissional poderá ter formação em Química, Física, Biologia ou ainda áreas da engenharia ligadas a área ambiental como Engenharia Ambiental, Química, Florestal, Produção Química. O candidato deverá ter experiência científica com ferramentas de tratamento de grande base de dados de gases de efeito estufa: machine learning, preenchimento de dados faltantes, correlações entre variáveis, análise dos componentes principais, boruta, agrupamentos hierárquicos, seleção de variáveis, calibração multivariada, etc. A necessidade de experiência no processamento de dados de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄, N₂O), envolve conhecimento de programação, além de conhecimento específico na área ambiental, vinculado ao papel das variáveis climáticas e interferência humana nas emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Este pesquisador vai aplicar esses conhecimentos em nosso grupo científico e ampliar nossa capacidade de interpretar as funcionalidades da Floresta Amazônica e suas modificações com as Mudanças Climáticas.

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
10.1.1	Doutorado	Física, Biologia, Química ou Eng. Ambiental/Florestal/Química	1 a 4	D-A	4	1

10.1.4 - Atividades de Execução

Para atingir o objetivo geral e os objetivos específicos do projeto, as seguintes atividades são necessárias:

1. Familiarização com os dados gerados pelo laboratório e integração entre as bases de dados de GEE e as variáveis e fatores que contribuem com as alterações que estão ocorrendo na Amazônia;
2. Preenchimento dos dados faltantes na serie histórica de GEE medidos.
3. Desenvolvimento de ferramentas para facilitar e agilizar as etapas de processamento, tratamento e análise dos dados provenientes dos gases medidos pelo LaGEE (CO₂, CH₄, N₂O, CO), a fim de entender o efeito da mudança do uso da terra e da variação do clima na resposta da Floresta Amazônica.
4. Escrever um artigo para publicação em revista científica indexada.

Indicadores:

- a. Consolidação e alimentação dos dados em formato big data.
- b. Melhor entendimento e interpretação do efeito da mudança do uso da terra e da variação do clima em resposta as alterações observadas na Floresta Amazônica.
- c. Submissão de um artigo em revista científica indexada.

Metas:

- i. Organização e integração dos dados existentes com a alimentação de novos dados de gases do efeito estufa (GEE), gases traçadores de atividades antropogênicas, variáveis meteorológicas e outras informações relevantes no formato de big data
- ii. Desenvolver e aplicar ferramentas de processamento, tratamento e interpretação dos dados para as amostras realizadas na Amazônia.
- iii. Submissão de um artigo em revista científica indexada

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas 2023-2024			
			out	nov	dez	jan
1	1	a	i	i		
2	1, 2	a	i, ii	i, ii	ii	
3	1, 2, 3	b		ii	ii	ii
4	1, 2, 3	c			iii	iii

10.1.5 – Cronograma de Atividades

Descrição das Atividades:

Atividades	2023-2024			
	out	nov	dez	jan
1	X	X		
2	X	X	X	
3		X	X	X
4			X	X

10.1.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades [1].

1. Disponibilização dos resultados do estudo para a comunidade envolvida com os projetos científicos em desenvolvimento, após a publicação.



2. Ferramentas de processamento e interpretação dos dados.
3. Submissão de um artigo científico em revistas indexadas.

10.1.7 – Resultados Esperados

4. Maior agilidade e ampliação da capacidade de processamento, tratamento e análise dos dados;
5. Ganho no entendimento e diagnóstico das alterações que estão ocorrendo na funcionalidade da Floresta Amazônica.
6. Submissão em revista científica indexada

10.1.8 - Recursos Solicitados

Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	
Passagens	
Total (R\$)	

Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00
	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					

10.1.9 - Coordenadora do Projeto

Dra. Luciana V. Gatti – CGCT/INPE

PROJETO 10 – PROJETO INTEGRADOR DO COCST PARA MUDANÇAS AMBIENTAIS

Subprojeto 10.2: Indicadores de vulnerabilidade climática: Mapeamentos de risco em área de encosta associada a presença de eventos extremos

10.2.1. Introdução

A ação antropogênica e a utilização errônea dos recursos naturais favorecem a ocorrência de transformações significativas no meio ambiente, que por sua vez, ocasionam um ‘feedback’ negativo nas condições atmosféricas reinantes. Com o aumento do uso das fontes fósseis de energia (**carvão mineral, gás natural e o petróleo**) e seus sub-produtos, **verifica-se o aumento da emissão dos gases de efeito estufa e posteriormente o aquecimento global. Por conseguinte, essa cadeia ocasiona mudanças nas condições climatológicas globais, no ciclo hidrológico e na frequência e intensidade de eventos climáticos, tais como períodos prolongados de seca, chuvas intensas de curta duração, entre outros.**

Os eventos extremos (chuvas intensas) em geral estão associados a permanência e/ou a intensidade de sistemas meteorológicos (ciclones, frente frias, tornados, monções) em uma determinada região. A presença por vários dias de chuvas intensas favorece a saturação do solo, erosão e acúmulo de água em regiões urbanas (inundações). É importante assinalar que, ao se estudar as inundações e os deslizamentos das encostas deve-se ter em mente que tais fatores dependem da morfologia do relevo, da rede de drenagem, da frequência e intensidade das chuvas, da taxa de infiltração, da taxa de saturação do solo, da presença ou ausência de cobertura vegetal na área e da ocupação do solo. Adicionada a isso, a ocupação desordenada nas áreas urbanas e rurais ocasionam a impermeabilização do solo, a retificação dos cursos d’água (modificações no leito e no trajeto dos rios), a redução e poluição das fontes hídricas (canais pluviais e lençóis freáticos) e o assoreamento dos rios e lagos.

Recentemente, percebe-se que **as chuvas intensas estão acontecendo em um curto período de tempo e de forma rápida, causando perdas de vidas, prejuízos financeiros, deslizamentos e doenças sazonais (Machado & Ahmad, 2006; French, 1989; Maffra & Mazolla, 2007). Em relação ao Brasil, cerca de 80% das inundações estão associadas a presença de sistemas atmosféricos mais intensos (Brasil, 2007), sendo 60% dessas inundações, concentradas nas Regiões Sul e Sudeste (Marcelino, 2007). Como citado acima, as condições atmosféricas extremas são determinantes em caso de inundações e deslizamentos nas cidades urbanas, em especial nas áreas de encostas. Quando as chuvas ocorrem em curto período de tempo e em grande intensidade, o solo não suporta a carga e acaba por deslizar. Além disso, quando essas chuvas ocorrem em solos saturados a chuva não é captada, causando enxurradas e inundações.**

Atualmente estudos nas temáticas ambiental e socioeconômica com foco multidisciplinar estão sendo realizados pelo COCST/INPE, com o intuito de contribuir para desenvolvimento sustentável que concilie o funcionamento integrado das esferas econômica, social e ambiental. A DIIAV no âmbito do **Projeto Integrador do COCST para Mudanças Ambientais** desenvolve pesquisas que auxiliam na formação de cenários de mudanças climáticas e ambientais, visando uma melhor compreensão da segurança hídrica, alimentar e energética do Brasil. Para tanto, o COCST foca seus estudos em três grandes eixos estruturantes: Sistemas de Observação, Modelagem e Diagnósticos e Cenários, contribuindo assim, para cumprimento das metas assumidas pelo país em relação aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, da ONU.

Neste contexto, esse projeto tem como foco principal avaliar o risco de inundação e deslizamento, a partir de mapas espaciais dos índices de inundação, dados pluviométricos e das condições de solo em áreas pré-selecionadas da Região Sudeste do Brasil. Com essa proposta espera-se complementar as pesquisas que estão sendo desenvolvidas pela DIIAV dentro do **Projeto Integrador do COCST para Mudanças Ambientais** e no âmbito da Plataforma AdaptaBrasil (**Projeto Estratégico 3 – DIP3 do INPE**). Por fim, este subprojeto trata das atividades necessárias para atingir o **objetivo Específico 3**.

10.2.2. Objetivos gerais

Analisar a influência de eventos climáticos extremos (chuvas rápidas e intensas) em relação aos desastres naturais (inundações e deslizamentos), ocorridos nas Regiões Metropolitanas do Sudeste do Brasil.

Os objetivos específicos são:

1-Analisar a variabilidade (frequência e intensidade) das chuvas nas regiões metropolitanas da Região Sudeste do Brasil e relacioná-la com a ocorrência de desastres naturais;

2-Calcular com base nas variáveis meteorológicas e análise dos sistemas meteorológicos reinantes o índice de inundação (risco);

3-Apresentar mapas espaciais de inundação para subsidiar o poder público local na resposta ao desastre e na mitigação de danos.

10.2.3. Insumos

10.2.3.1. Custeio

Não há previsão de despesas de custeio

10.2.3.2. Bolsa

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
10.2.1	Profissional com 10 (dez) anos de experiência em projetos científicos, tecnológicos ou de inovação após a obtenção do diploma de nível superior em Meteorologia, ou com Título de doutor	Meteorologia	3	D-A	4	1

10.2.4. Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out.	Nov	Dez.	Jan.
1. Desenvolvimento de mapas para análise de campos em altos, baixos e médio níveis usando análise/ reanálise numéricas	1	Desenvolvimento de scripts	X			
2. Seleção dos casos extremos	1	Análise Sinótica dos Casos selecionados	X			
3. Seleção das áreas de risco	2	Análise do solo		X		
4. Aplicação do método de cálculo de risco para os casos selecionados	3	Aplicação do método de cálculo de risco para os casos			X	

5. Elaboração de relatórios e/ou artigos científicos para divulgação dos resultados obtidos na pesquisa	1-3	selecionados Relatórios e demais trabalhos técnicos e científicos				X
---	-----	--	--	--	--	---

10.2.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses			
	Outubro/23	novembro/23	dezembro/23	janeiro/24
Atividade 1	X			
Atividade 2	X	X		
Atividade 3		X	X	
Atividade 4			X	
Atividade 5				X

10.2.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out.	Nov	Dez.	Jan.
Determinação dos eventos extremos	1	Relatório técnico	X			
Seleção das áreas de risco	2	Relatório técnico		X		
Mapas das áreas de risco	2-3	Relatório técnico			X	X
Elaboração de artigo científico	1-3	Relatório técnico				X

10.2.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			out	nov	dez	Jan.
1. Scripts/programas	1-2	Número de produtos	1			
2. Mapeamentos das áreas de risco	2-3	Número de produtos		2	2	
3. relatórios parciais	1-3	Número de relatório				3

10.2.8 - Recursos Solicitados

10.2.8.1. Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	0,00
Passagens	0,00
Total (R\$)	0,00

10.2.8.2. Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00	4	1	20.800,00



	B	4.160,00			
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					20.800,00

10.2.9. Referências

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. VIGIDESASTRES. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental dos Riscos Decorrentes dos Desastres Naturais Brasília**: Ministério da Saúde, 2007.

FREITAS, C. M. et al. Desastres naturais e seus custos nos estabelecimentos de saúde no Brasil no período de 2000 a 2015. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, 2020.

MAFRA, C. Q. T., MAZOLLA, M. **As razões dos desastres em território brasileiro**. Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? Brasília. Ministério do Meio Ambiente, 2007.

MARCELINO, E.V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria, INPE, 2008.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCHUSP, n. 6, São Paulo, 1992.

10.2.10. Equipe do Projeto

Coordenador: Lincoln Muniz Alves



PROJETO 10 – PROJETO INTEGRADOR DO COCST PARA MUDANÇAS AMBIENTAIS

Subprojeto 10.3: O papel das florestas tropicais úmidas na recarga hídrica – suprimento ou demanda?

10.3.1. Introdução

Em face ao reconhecimento do papel da floresta na regulação do clima e da água, uma série de medidas de recuperação florestal vem sendo tomadas. Dentre elas, destaca-se o Projeto Conexão Mata-Atlântica, iniciativa do Global Environmental Facility (GEF) e do MCTI, em parceria com a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, com foco nas atividades de recuperação da Mata Atlântica, ao qual a presente proposta está vinculada. Ainda que seja inegável o valor ambiental, econômico e social das florestas preservadas, inúmeras incertezas existem acerca dos efeitos de ações de reflorestamento sobre os recursos hídricos. Em particular cita-se a noção, amplamente disseminada, de que as florestas em crescimento demandam grandes volumes de água do solo, limitando a disponibilidade desse recurso para abastecimento humano (Andréassian, 2004; Bonell, 2005; Bruijnzeel, 2004; Calder, 2007; Farley et al., 2005). No entanto, pouco se sabe acerca do funcionamento ec hidrológico das florestas tropicais úmidas. Enquanto a maior parte dos estudos sugerem que as elevadas taxas evapotranspirativas da floresta conduziriam a uma redução nos mananciais de água superficiais e subterrâneos, estudos recentes indicam que uma cobertura florestal adequada favorece o armazenamento de água necessário às atividades metabólicas das plantas e demandas atmosféricas, com um eventual excedente contribuindo para a recarga subterrânea (U. Ilstedt et al., 2016; Ulrik Ilstedt et al., 2007).

Considerando que as relações entre densidade de cobertura vegetal, estoques de carbono, uso e eventual produção de água são importantes norteadores das políticas de recuperação florestal, o presente projeto visa responder às seguintes perguntas: *qual é a taxa média de uso da água por quantidade de biomassa produzida em espécies nativas da Mata Atlântica e espécies exóticas pinus e eucalipto? qual é o potencial de que áreas reflorestadas armazenem, e eventualmente excedam, a quantidade de água necessária para a sua manutenção e desenvolvimento, potencialmente contribuindo para recarga de aquíferos? Como essas propriedades variam ao longo de diferentes estágios de regeneração florestal?* As respostas a essas e outras perguntas serão obtidas por meio de medidas in situ de variáveis do ciclo hidrológico (precipitação, evapotranspiração e armazenamento de água na zona não saturada do solo) e do crescimento de biomassa acima do solo (troncos e folhas) ao longo de cronosssequências de recuperação de vegetação da Mata Atlântica existentes na APA de São Francisco Xavier e na área de amortecimento do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Santa Virgínia. Os resultados dos experimentos serão complementados com simulações feitas a partir de modelos computacionais da interação solo-planta-atmosfera. Os resultados serão traduzidos em produtos que permitam aos tomadores de decisão estimar quantidades de água requeridas para os diversos projetos de reflorestamento, bem como considerar o potencial de acúmulo de água na bacia resultante desses projetos, com potencial de ser traduzido em termos monetários para aplicação em ações de pagamento por serviços ambientais (PSAs).

Atualmente estudos nas temáticas ambiental e socioeconômica com foco multidisciplinar estão sendo realizados pelo COCST/INPE, com o intuito de contribuir para desenvolvimento sustentável que concilie o funcionamento integrado das esferas econômica, social e ambiental. A DIIAV no âmbito do **Projeto Integrador do COCST para Mudanças Ambientais** desenvolve pesquisas que auxiliam na formação de cenários de mudanças climáticas e ambientais, visando uma melhor compreensão da segurança hídrica, alimentar e energética do Brasil. Para tanto, o COCST foca seus estudos em três grandes eixos estruturantes: Sistemas de Observação, Modelagem e Diagnósticos e Cenários, contribuindo assim, para cumprimento das metas assumidas pelo país em relação aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, da ONU.

Neste contexto, esse projeto tem como foco principal avaliar o trade-off entre infiltração e transpiração em florestas tropicais nativas do Vale do Paraíba, localizadas nas Serras do Mar e

Mantiqueira, em diferentes estágios de crescimento. Com essa proposta espera-se complementar as pesquisas que estão sendo desenvolvidas pela DIIAV dentro do **Projeto Integrador do COCST para Mudanças Ambientais**. Por fim, este subprojeto trata das atividades necessárias para atingir os **OE 17 e OE 18 do Planejamento Estratégico do INPE (2022-2026)**, que visam, respectivamente, *Ampliar a capacidade de monitorar todos os biomas e o oceano nacionais com a produção de dados e informações ambientais estratégicas e Aprimorar e desenvolver modelos empíricos, teóricos e estatísticos do sistema terrestre, provendo informações ambientais em diversas escalas espaciais e temporais*. O presente projeto faz parte do TAP *Estudos interdisciplinares das influências das ações antrópicas e identificação de impactos, vulnerabilidades e adaptação no Sistema Terrestre (01340.001287/2022-11)*.

10.3.2. Objetivos gerais

Medir, por meio de instrumentação de campo, o trade-off entre infiltração e transpiração em florestas tropicais nativas da Mata Atlântica. As áreas experimentais para essas medidas estão localizadas nas Serras do Mar e Mantiqueira, no trecho paulista da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul.

Os objetivos específicos são:

1 Estimativa do uso da água por plantas nativas da Mata Atlântica, expressa em termos de espécies, diâmetro do tronco, área basal e área de xilema ativo

2 Avaliar o trade-off entre transpiração e infiltração em áreas de floresta nativa em diferentes estágios de regeneração, e o papel dessas florestas na recarga de aquíferos - estudos baseados em dados medidos in situ e modelagem

3-Avaliação da relação entre estoque de carbono e água – eficiência do uso da água

10.3.3. Insumos

10.3.3.1. Custeio

Não há previsão de despesas de custeio

10.3.3.2. Bolsa

Código	Formação Acadêmica / Titulação	Área de Experiência	Objetivo Específico	PCI categoria/nível	Meses	Quantidade
10.3.1	Profissional com 7 (sete) anos de experiência em projetos científicos, tecnológicos ou de inovação após a obtenção do diploma de nível superior em Engenharia Florestal, Biologia, Agronomia ou áreas afins, ou com Título de doutor	Engenharias, Biologia, Ecologia, Ciência do Solo ou áreas afins	3	DB	4	1

10.3.4. Atividades de Execução

Atividades	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out.	Nov	Dez.	Jan.
1. Implantação de sensores e medidores in situ nas áreas experimentais	1	Sensores e medidores implantados	X			
2. Acompanhamento quinzenal das variáveis monitoradas nas áreas experimentais implantadas	1	Criação e alimentação do banco de dados monitorados in situ	X	X	X	X
3. Coleta de amostras de água, solo e planta para análises laboratoriais	2	Amostras coletadas		X	X	
4. Análises laboratoriais nas amostras coletadas (i.e., características dos solos e plantas, concentração de raízes)	3	Análises laboratoriais realizadas			X	
5. Elaboração de gráficos e banco de dados das series históricas medidas para efeito de alimentação de modelo SVAT – Soil, Vegetation, Atmosphere Transfer	1-3	Banco de dados produzido				X

10.3.5 – Cronograma de Atividades

Atividades	Meses			
	Outubro/23	novembro/23	dezembro/23	janeiro/24
Atividade 1	X			
Atividade 2	X	X	X	X
Atividade 3		X	X	
Atividade 4			X	
Atividade 5				X

10.3.6 – Produtos

Denominam-se produtos, os frutos diretos e quantificáveis das atividades do projeto, entregues imediatamente pela realização de suas atividades.

Produtos	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			Out.	Nov	Dez.	Jan.
Implantação de áreas experimentais ecoidrológicas	1	Área experimentais implantadas	X			
Coleta de dados ecoidrológicos medidos in situ e complementados em laboratório	2	Dados coletados e analisados		X		
Produção de banco de dados ecoidrológicos	2-3	Banco de dados			X	X



		produzido e operacional				
Elaboração de artigo científico	1-3	Relatório técnico				X

10.3.7 – Resultados Esperados

Resultados	Objetivo Específico	Indicadores	Metas			
			out	nov	dez	jan
1. Áreas experimentais implantadas e produzindo dados para interpretação do papel das florestas na recarga hídrica	1-2	Número de áreas experimentais instaladas e número de variáveis medidas nessas áreas	1	1	1	1
2. Criação de banco de dados que permita a análise dos dados experimentais e que sirvam de dados de entrada para modelos SVAT	2-3	Número de variáveis contidas no banco de dados		2	2	2
3. relatórios parciais	1-3	Número de relatórios				3

10.3.8 - Recursos Solicitados

10.3.8.1. Custeio:

Custeio	Valor (R\$)
Diárias	0,00
Passagens	0,00
Total (R\$)	0,00

10.3.8.2. Bolsas:

PCI	Categoria/ Nível	Mensalidade (R\$)	Meses	Quantidade	Valor (R\$)
PCI-D	A	5.200,00			
	B	4.160,00	4	1	16.640,00
	C	3.380,00			
	D	2.860,00			
	E	1.950,00			
	F	900,00			
PCI-E	1	6.500,00			
	2	4.550,00			
Total (R\$)					16.640,00

10.3.9. Referências

Andréassian, V. (2004). Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, 291(1-2), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>



Bonell, M. (2005). Runoff generation in tropical forests. In *Forests, Water and People in the Humid Tropics: Past, Present and Future Hydrological Research for Integrated Land and Water Management* (pp. 314–406). Cambridge University Press.

<https://doi.org/10.1017/CBO9780511535666.020>

Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104(1), 185–228.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>

Calder, I. R. (2007). Forests and water—Ensuring forest benefits outweigh water costs. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.015>

Farley, K. A., Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2005). Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, 11(10), 1565–1576.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x>

Ilstedt, U., Bargués Tobella, A., Bazié, H. R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., et al.

(2016). Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6, 1–12. <https://doi.org/10.1038/srep21930>

Ilstedt, Ulrik, Malmer, A., Verbeeten, E., & Murdiyarso, D. (2007). The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.014>

10.3.10. Equipe do Projeto

Laura De Simone Borma (coordenador)

Manoel Ferreira Cardoso

Daniel Meneghetti