

Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Departamento de Ciências Atmosféricas  
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia

## **Qualificação**

**Investigação da Camada Limite Superficial na região costeira das areias  
monazíticas de Meaípe, Guarapari (ES)**

Aluna: Tatyane Paz Dominguez dos Santos Alves

Orientadora: Profa Dra Jacyra Soares

Laboratório de Interação Ar-Mar (LIAM)  
Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG- USP

**15 de julho de 2020**

## Resumo

O conhecimento da atmosfera na camada limite superficial (CLS), sobre diferentes superfícies, é de extrema importância para estudos de monitoramento ambiental. As areias da praia de Meaípe (Guarapari, ES), em especial, são monazíticas, um tipo de areia com alta concentração natural de minerais pesados. O elemento radioativo tório ( $^{232}\text{Th}$ ) é encontrado nessas areias e decai em vários núcleos filhos, sendo um deles o gás natural radioativo, incolor, inodoro e inerte denominado radônio ( $^{220}\text{Rn}$ ). O efeito biológico associado a baixas doses dessa radiação natural desperta controvérsia no meio científico e dessa forma torna-se importante entender e correlacionar as propriedades da CLS com o nível de radioatividade local. Para isso estão sendo utilizados dados coletados pelo projeto FluTuES (Fluxos Turbulentos sobre o Espírito Santo), de intensidade e direção do vento, pressão barométrica, temperatura do ar e da superfície, umidade do ar, fluxo de calor no solo, e balanço de radiação. Simultânea às observações meteorológicas, também está sendo aferida pela Universidade do Espírito Santo, a intensidade da radioatividade local. Como resultado final pretende-se investigar uma possível relação entre os dados meteorológicos observados e a intensidade da radioatividade sobre as areias de Meaípe.

## 1. Introdução

Meaípe é uma região litorânea da cidade de Guarapari (ES/Brasil) cujas areias, contendo monazita, atraem interesse internacional desde o final do séc XIX, quando amostras enviadas para a França, indicaram a presença de mineral radioativo, o óxido de tório (Bourguignon, 2019).

A praia de Meaípe atrai a curiosidade pela fama de suas areias terem propriedades curativas. Um estudo de Orlando et al. (2014) fez uso de dados do SUS entre o período de 2008 e 2013, chegando à conclusão de que Guarapari tem o menor índice de câncer de mama per capita em todo o estado do Espírito Santo, reforçando a hipótese de que o nível de radioatividade dessa região (entre 8 e 15  $\mu\text{Sv}$ ) pode ser o responsável pela menor incidência dessa doença, operando como atividade biopositiva.

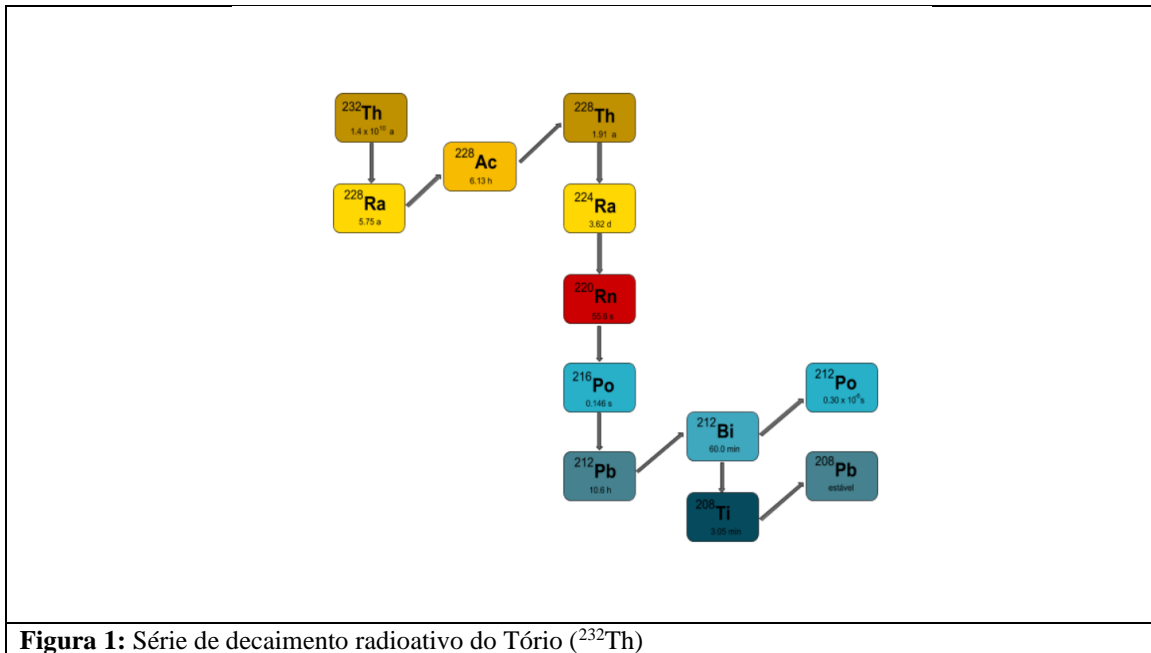
Todo elemento radioativo, ainda não está em equilíbrio, isso significa dizer que haverá sucessivos decaimentos (emissão de partículas alfa, beta ou gama) até que se chegue num elemento estável. Ao chegar no elemento estável a cadeia de decaimentos cessa e o elemento final não mais será radioativo. Portanto, pode-se entender que radioatividade é uma propriedade de elementos instáveis emitindo energia para se estabilizar. De acordo com o relatório da International Atomic Energy Agency (2001) existem três principais séries de decaimento radioativo de origem natural, o urânio ( $^{238}\text{U}$ ), urânio ( $^{235}\text{U}$ ) e o tório ( $^{232}\text{Th}$ ).

O tório  $^{232}\text{Th}$ , é encontrado nessas areias e decai em vários núcleos filhos, os radionuclídeos. Um deles é um elemento natural gasoso, radioativo e inerte denominado radônio ou torônio ( $^{220}\text{Rn}$ ), proveniente do decaimento do isótopo radioativo rádio ( $^{224}\text{Ra}$ ) que também é um dos radionuclídeos componentes desta série de decaimentos (Schery, 1990), como indicado na Figura 1.

Aqui será adotada a terminologia torônio para o isótopo ( $^{220}\text{Rn}$ ) para evitar confusão com o radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ), este último mais comum em ambientes artificiais fechados e muito estudado na construção civil (UNSCEAR, 2000), sendo um radionuclídeo filho pertencente à série de decaimentos do urânio  $^{238}\text{U}$ .

Em cada decaimento, é irradiada alta quantidade de energia sob a forma de emissões  $\alpha$ ,  $\beta$  ou sob a forma de raios  $\gamma$ . As emissões alfa não tem potencial de atravessar o corpo humano por exemplo, entretanto caso substâncias emissoras sejam inaladas ou ingeridas, tem potencial de dano, as emissões  $\beta$  têm potencial de atravessar a pele, então não é necessário contato com a substância emissora, emissões  $\gamma$  tem

potencial de atravessar o corpo humano, blocos de concreto e alguns tipos de metais leves. É esse o tipo de radiação emitida pelo gás torônio.



**Figura 1:** Série de decaimento radioativo do Tório ( $^{232}\text{Th}$ )

Ao tratarmos de um gás que está sendo emitido na atmosfera, necessita-se entender inicialmente como a atmosfera local se comporta. A camada limite superficial (CLS) é a camada atmosférica mais próxima à superfície, onde ocorrem os fluxos turbulentos entre as diferentes superfícies e a atmosfera e onde há a emissão de torônio. Dessa forma, o estudo da CLS é importante para a compreensão da atuação dos processos atmosféricos na radioatividade local.

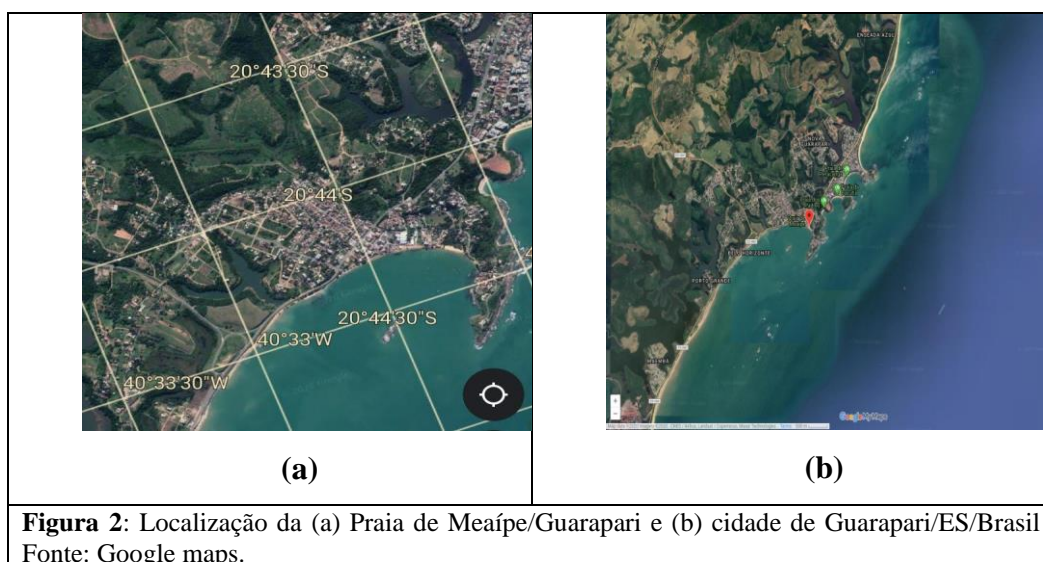
No ano de 2018 pesquisadores da USP, projeto FluTuES (Soares et al., 2019a) em parceria com pesquisadores da UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), instalaram uma torre meteorológica na praia de Meáípe, e desde então, instrumentos adequados registram variáveis meteorológicas e radiação gama.

O objetivo principal e final deste projeto de pesquisa é mapear a possível influência das variáveis meteorológicas no comportamento da radiação gama presente na camada limite superficial da região estudada.

Esta monografia objetiva a investigação observacional da atmosfera local de Meáípe.

## 2. Região investigada

A região de Meaípe - 20°39'13" S, 40°30'07" W - (Figura 2a), ES/Brasil, localizada no estado do Espírito Santo, Guarapari (Figura 2b), é classificada como o 6º lugar no mundo onde há maior concentração e liberação de radionuclídeos naturais (UNSCEAR, 2000), tornando-a conseqüentemente a região de maior dose de radioatividade natural no Brasil. Dose é uma terminologia comumente medida em Sv (Sievert), que significa a energia radiativa que é absorvida por tecidos vivos, e Sievert equivale à dose de radiação ionizante absorvida pelo corpo humano:  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ gray} = 100 \text{ rad} = 1 \text{ J kg}^{-1}$ . Cada tecido e órgão do corpo humano apresenta uma vulnerabilidade distinta à determinadas doses de radiação, nesse caso a dose efetiva é uma medida do real dano à que um tecido está suscetível, já ponderada pela sensibilidade do mesmo à determinada dose de radiação (Schery, 1990).



De acordo com alguns autores, a intensidade da radioatividade, na praia de Meaípe, não é constante (Soares et al., 2019b), e essa não homogeneidade espacial e temporal é um dos indícios da participação de variáveis meteorológicas e oceanográficas no comportamento do gás torônio nesta região.

## 2.1 Camada limite superficial (CLS)

A primeira camada atmosférica, no interior da troposfera, é a camada limite planetária (CLP). Essa importante camada atmosférica realiza intensas trocas de calor, momento e energia com a superfície, apresentando um escoamento com caráter turbulento (Sorbján, 1989), e fonte de energia que depende intrinsecamente da estrutura do vento e do perfil vertical de temperatura (Stull, 1988). A altura vertical da CLP varia no espaço e no tempo (é sensível aos ciclos diurnos), dentro dela encontra-se a camada limite superficial (CLS), correspondendo a cerca de 10% da extensão da CLP.

Na CLS, a existência de fortes gradientes verticais de calor, momento, massa controlam as transferências dessas propriedades de tal forma, que os fluxos de momento ( $\tau$ ), umidade ( $Q$ ), e calor ( $H$ ) podem ser expressos e estimados em termos dos gradientes na direção vertical  $z$ . Essa é uma peculiaridade da CLS que permite o uso análogo de leis já conhecidas e que aplicam-se ao âmbito de difusão molecular em dinâmica dos fluidos (Kaimal & Finnigan, 1994). Porém, nem sempre se dispõe de medidas simultâneas em níveis de altura distintos, para que se possa fazer aproveitamento dessa característica da CLS, e estimar fluxos com base em variações verticais de vento, temperatura, etc. Outra característica da CLS é que nessa região atmosférica os fluxos são verticalmente homogêneos, e são resultado da mistura turbulenta, e nesse caso, podem ser definidos em termos de turbulência, das flutuações da propriedade advectada e das flutuações das componentes de velocidade. O método da correlação (*eddy correlation*) consiste na estimativa dos fluxos através do cálculo de covariância entre flutuações turbulentas dessas ou de outras variáveis de interesse na pesquisa em CLS. É necessário, entretanto, sensores de resposta rápida que tenham a habilidade de captar e registrar tais flutuações de todas as variáveis (Kaimal & Finnigan, 1994). O estudo dos fluxos verticais e o emprego de medidas estatísticas são fundamentais para compreender a CLS.

### 3. Dados utilizados

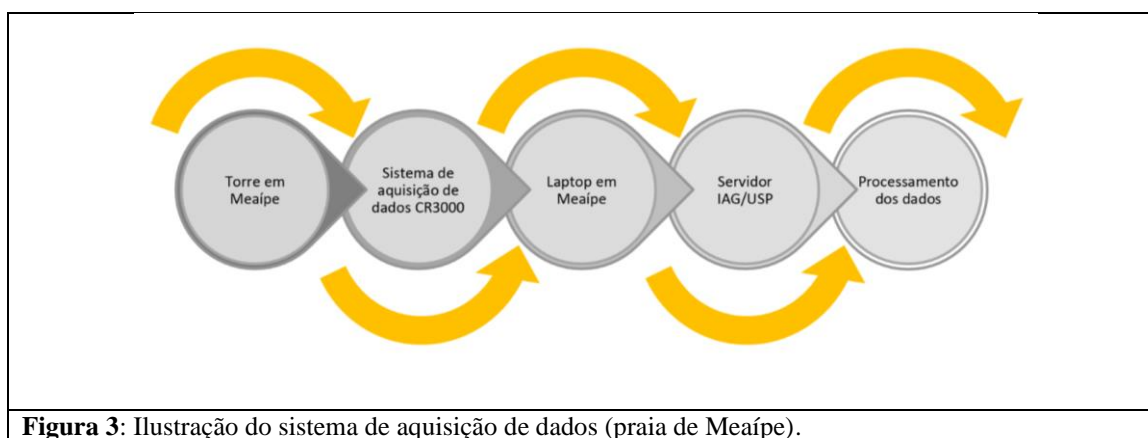
A obtenção dos dados utilizados no trabalho, foi realizada a partir de uma torre instrumentada com sensores das variáveis meteorológicas (amostradas desde 01/12/2018), e da intensidade da radiação gama (amostrada na torre desde 29/11/2019) na região costeira de Meaípe, até o presente.

Os dados atmosféricos estão sendo coletados com uma frequência de 0.5 Hz, acomodando os diferentes tempos de resposta dos instrumentos. Estão sendo amostrados: (i) temperatura e umidade do ar; (ii) pressão barométrica; (iii) temperatura do solo; (iv) fluxo de calor no solo; (v) radiação de onda curta incidente e refletida; (vi) radiação de onda longa emitida pela atmosfera e pela superfície, (vii) precipitação; (viii) direção e (ix) intensidade do vento. A radioatividade em função da presença do gás torônio na região, está sendo sondada através da detecção de radiação gama ( $\gamma$ ), que é o tipo de onda eletromagnética emitida pelo gás  $^{220}\text{Rn}$ . A Tabela 1 sumariza algumas informações sobre os sensores instalados na torre.

Tabela 1 - Equipamentos instalados na torre do projeto FluTuES em Meaípe.

Variável	Sensor/Modelo	Altura (m)	Período
Intensidade e direção dos ventos	05103L Wind Monitor	4.31	26 Nov 2019 - 30 Jun 2020
Intensidade e direção dos ventos	CSAT3 3-D Sonic Anemometer	4.10	30 Nov 2018 - 28 Nov 2019
Densidade molar de vapor d'água e dióxido de carbono	LI-7500 Open Path CO2/H2O Analyzer	4.12	30 Nov 2018 - 28 Nov 2019
Radiação	CNR4 Net Radiometer	3.94	30 Nov 2018 - 30 Jun 2020
Temperatura e umidade relativa	HC2S3 Temperature and Relative Humidity Probe	3.66	30 Nov 2018 - 30 Jun 2020
Precipitação	CS700 Rain Gage	2.4	26 Nov 2019 - 30 Jun 2020
Pressão atmosférica	CS106 Barometer	0.55	30 Nov 2018 - 30 Jun 2020
Temperatura do solo	109 Temperature Probe	-0.05	30 Nov 2018 - 30 Jun 2020
Fluxo de calor no solo	HFP01 heat flux sensor	-0.05	30 Nov 2018 - 30 Jun 2020
Radiação gama I	Gamma-Scout Standard	0.35	29 Nov 2019 - 30 Jun 2020
Radiação gama II	Gamma-Scout Standard	3.0	17 Out 2019 - 30 Jun 2020
Sistema aquisição de dados	Datalogger CR3000	0.4	26 Nov 2018 - 30 Jun 2020

O datalogger CR3000 é um sistema de aquisição de dados, que é alimentado por todos os sensores instalados na torre, como esquematizado na Figura 3. Ele coleta as informações fornecidas pelos sensores, realizando um pré-processamento em Fortran. Para os sensores de resposta lenta a leitura de dados é feita a cada 20s, e são realizadas médias a cada 5min; para sensores de resposta rápida a leitura é feita a cada 100ms e a armazenagem também. O produto final é um arquivo de gravação dessas variáveis, que são armazenados a cada 30 minutos em um laptop ligado ao datalogger por um cabo serial, e transmitidos à nuvem por um script batch que automatiza a entrada e envio dos dados.



**Figura 3:** Ilustração do sistema de aquisição de dados (praia de Meaipe).

Assim, os dados são disponibilizados em tempo quase real, no servidor da USP/IAG, são tratados e organizados inicialmente pelo setor técnico do Laboratório de Interação Ar- Mar (<http://www.iag.usp.br/meteo/liam/data/MEA01.html>) através das linguagens Fortran e Python (Codato & Soares, 2019)

Os dados de radioatividade (radiação  $\gamma$ ) amostrados usando um detector “GammaScouter”, estão sendo armazenados a cada hora: ([http://www.iag.usp.br/meteo/liam/data/MEA01/MEA01\\_AVG\\_Rad.html](http://www.iag.usp.br/meteo/liam/data/MEA01/MEA01_AVG_Rad.html)). Os sensores GammaScouter (que medem radiação gama nos níveis 0.35m e 3m de altura), e Licor Analisador de gás (que medem CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O), apresentaram alguns problemas e em função disso, algumas médias mensais não puderam ser apresentadas nesta monografia.

Fazendo uso do software “R” como ferramenta de tratamento de dados, foram realizadas médias temporais (horária e mensal), com amostragem gráfica no intuito de fazer uma análise preliminar do comportamento da atmosfera e da radioatividade, identificando possíveis padrões, e caracterizando a região estudada.



A partir das variáveis observadas, o conjunto de dados foi complementado com algumas variáveis de interesse, umidade específica ( $q$ ) e radiação líquida ( $R_n$ ). É necessário esclarecer que as componentes do vento medidas ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ) só estão disponíveis para o ano de 2019. Assim, a aplicação de alguns métodos para estimativa futura dos fluxos verticais turbulentos só será possível fazendo uso desse período de dados.

De acordo com Stull (2015) o fluxo radiativo líquido ( $R_n$ ) consiste no balanço das componentes da radiação, ou seja, o balanço entre radiação solar incidente ( $O_{Ci}$ ), radiação solar refletida ( $O_{Cr}$ ), radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $O_{La}$ ), e radiação de onda longa emitida pela superfície ( $O_{Li}$ ), sendo determinada por:

$$R_n = O_{Ci} + O_{Cr} + O_{La} + O_{Li} \quad (1)$$

Foram obtidas média aritmética simples ( $M$ ), em todo conjunto amostral, para cada variável, exceto radiação de onda curta e precipitação:

$$M = \frac{1}{n} \sum_1^n Var \quad (2)$$

onde  $n$  é o número de elementos do conjunto amostral composto das observações de 5 min ( $Var$ ). Foram obtidas médias mensais e médias horárias, usando os dados de 5min para todas as variáveis.

Para a variável precipitação foi realizada a média com valores de acumulados mensais, e na média horária as amostragens foram transformadas em valores horários. As médias horárias e diárias dos componentes da radiação solar foram obtidas a partir dos valores médios integrados de 5 minutos ao longo do dia. As médias mensais foram realizadas utilizando os valores médios diários.

## 4. Resultados preliminares e discussão

Nesta seção serão exibidos os principais resultados obtidos, médias horárias e médias mensais, para as variáveis medidas e calculadas. Refere-se daqui por diante à hora local pela sigla **h** que de acordo com o padrão global de fuso horário, equivale à “Greenwich Mean Time” de - 3h.

As barras verticais nos gráficos representam o erro estatístico da média.

Valores máximos e mínimos são referentes aos valores absolutos, não considerando os sinais dos fluxos, os quais indicam o sentido dos mesmos.

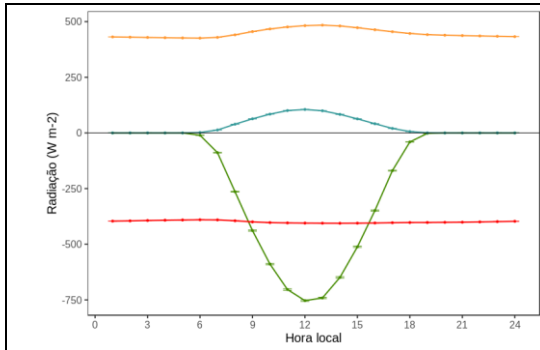
### 4.1 Variação horária

Conforme esperado, às 12 h (Figura 4) ocorrem máximas intensidades de radiação de onda curta incidente (OCi)  $753,2 \pm 0,5 \text{ W m}^{-2}$  e refletida (OCr)  $105,4 \pm 0,5 \text{ W m}^{-2}$ . A radiação emitida pela superfície (OLs) apresenta seu máximo  $484,1 \pm 0,3 \text{ W m}^{-2}$  às 13h e mínimo às 6h, concordando logo após o início de OCi no ciclo diurno. Há perda de calor pela superfície ao longo da noite, até que o retorno da exposição solar inicie o processo de aquecimento da superfície, elevando sua temperatura.

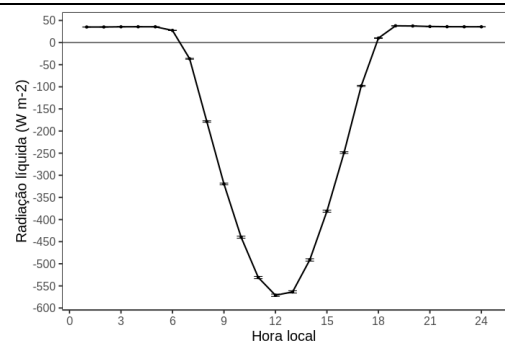
A radiação de onda longa emitida pela atmosfera (OLa) tem máximo de  $405,8 \pm 0,2 \text{ W m}^{-2}$  às 14h e mínimo às 6h ( $390,0 \pm 0,3 \text{ W m}^{-2}$ ). Das componentes de radiação, a OLa, apresenta maior atraso de fase em relação às demais no ciclo diurno, provavelmente relacionado à presença de nuvens.

A convenção adotada para os sinais da radiação, neste trabalho, segue Stull (1988), positivas quando dirigidas da superfície para a atmosfera (emergente), negativas quando da atmosfera em direção a superfície (incidente), em concordância com a coordenada vertical  $z$ .

A radiação líquida ( $R_n$ ), estimada conforme expressão (1), é dominada pela radiação solar incidente durante o dia, com máximo determinado pela OCi e pelo saldo de radiação de onda longa durante a noite (Figura 5), quando  $R_n$  é positiva (negativa) observa-se um resfriamento (aquecimento) associado ao ar em superfície (Yamasoe & Corrêa, 2016). O máximo na radiação líquida é obtida às 12h, com valor absoluto de  $571 \pm 3 \text{ W m}^{-2}$ .

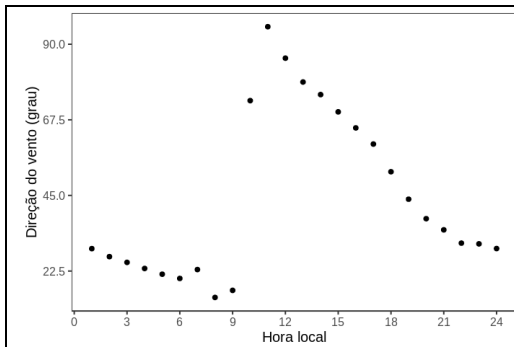


**Figura 4:** Média horária da radiação de onda curta incidente (verde); refletida (azul), onda longa emitida pela superfície (laranja), e onda longa emitida pela atmosfera (vermelho).

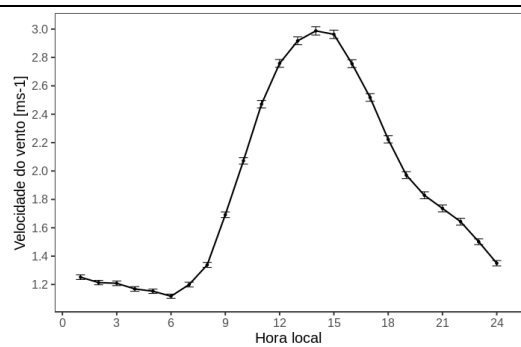


**Figura 5:** Média horária da radiação líquida

Os ventos mais frequentes sobre o local investigado são do quadrante NE (Figura 6). Entre 10h e 15h há regime entre NE e E. O período de ventos mais intensos no ciclo diurno ( $2,98 \pm 0,02 m s^{-1}$ ) está associado ao escoamento de leste (Figura 7), que pela localização geográfica da região, reporta a um escoamento proveniente do mar, podendo caracterizar um regime de circulação de brisa marítima.



**Figura 6:** Média horária da direção do vento



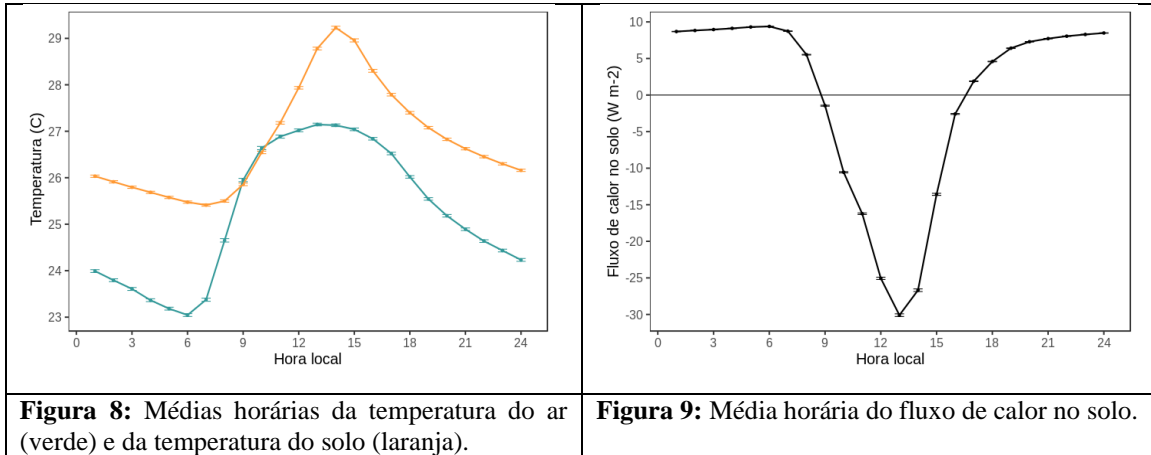
**Figura 7:** Média horária da velocidade do vento

O máximo no ciclo diurno da temperatura do ar (Tar) tem valor de  $27,14 \pm 0,02 ^\circ C$  às 13h, e mínimo de  $23,04 \pm 0,03 ^\circ C$  às 6h, respondendo ao ciclo de aquecimento solar.

O máximo da temperatura do solo, Ts, (Figura 8) apresenta um atraso em relação ao máximo da temperatura do ar, com a máxima às 14h ( $29,22 \pm 0,03 ^\circ C$ ) e mínima às 7h ( $25,41 \pm 0,02 ^\circ C$ ), sendo sempre mais alta do que a temperatura do ar, exceto no início da manhã quando se igualam.

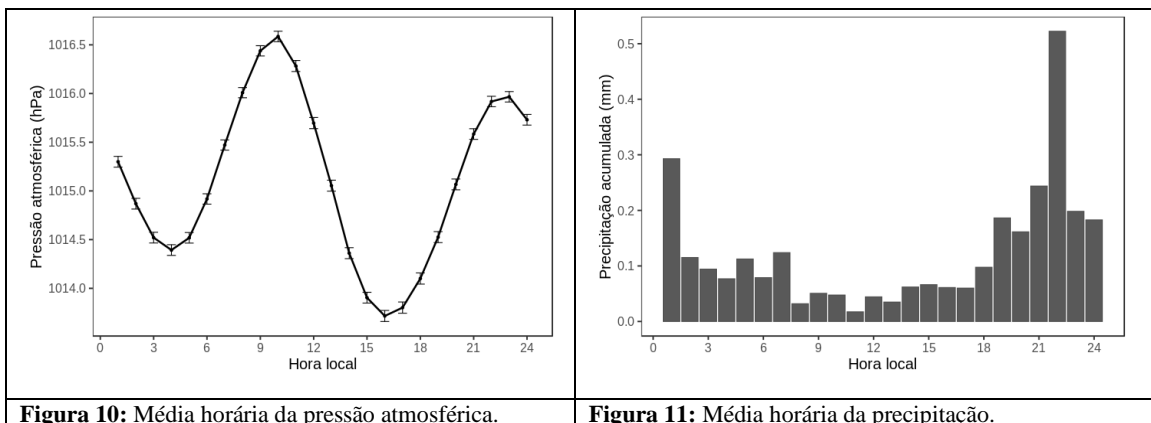
Durante o dia, no período que compreende 9h e 17h, o fluxo de calor no solo (G) se propaga das camadas mais superficiais para as mais profundas, atingindo o máximo às 13h. No período noturno há intensa perda radiativa na superfície, com as camadas mais rasas resfriando-se primeiro. Deste modo, o fluxo orienta-se das camadas de solo mais

profundas para as mais rasas, entre 17h e aproximadamente 9h, indicando um fluxo de calor no solo positivo.



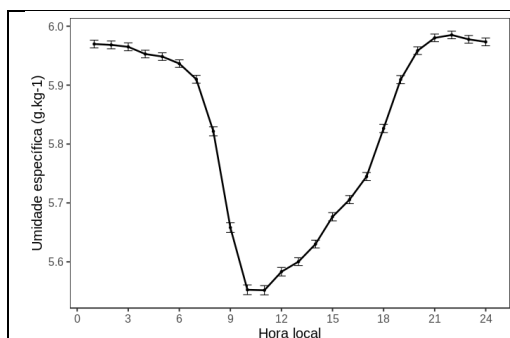
Foi observado um padrão senoidal na evolução diurna da pressão (Figura 10) com um máximo relativo de  $1016,58 \pm 0,05$  hPa às 10h e outro de  $1015,96 \pm 0,05$  hPa às 23h. Os mínimos ocorrem às 4h ( $1014,39 \pm 0,05$  hPa) e às 16h ( $1013,71 \pm 0,05$  hPa). Observa-se concordância dos menores valores de pressão (14h - 18h) com os ventos mais intensos (Figura 4). Meaípe é uma região litorânea onde nota-se o contraste entre oceano e continente, variações do campo de temperatura entre essas regiões eleva o gradiente de pressão horizontal, resultando em movimento do ar (Oke, 1987).

A precipitação (Figura 11) indica uma tendência à evolução de sistemas precipitantes no período da noite, apresentando dessa forma, nesse período, maior disponibilidade de umidade (Figuras 12 e 13).

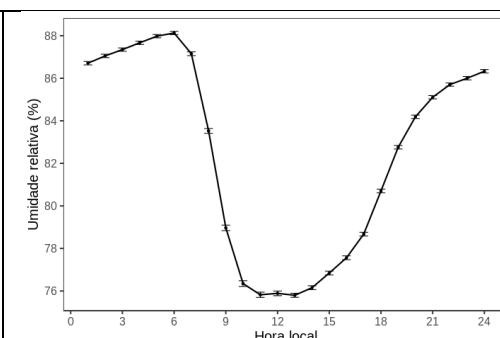


Maior densidade molar de vapor d'água (Figura 14) às 13h sugere maior índice de

evaporação nesse período, que pode estar relacionada à temperatura do ar elevada, e também à maior intensidade do vento.



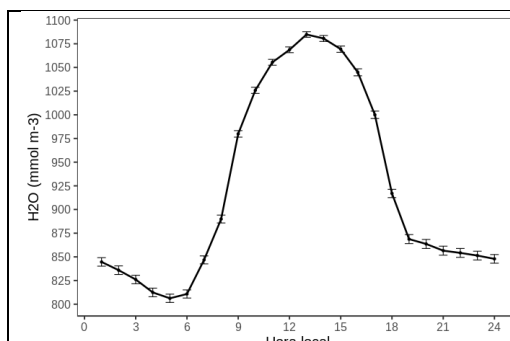
**Figura 12:** Média horária da umidade específica.



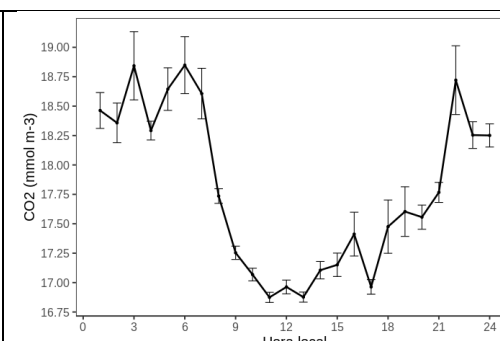
**Figura 13:** Média horária da umidade relativa.

A densidade molar de vapor apresenta um ciclo diurno marcado pelo aumento durante o dia e redução no período da noite (Figura 14), ao passo que o CO<sub>2</sub> (Figura 15) apesar das flutuações, exibe uma redução durante o dia, e aumento no período noturno. A pesar das muitas forçantes naturais e antrópicas que atuam no CO<sub>2</sub>, é possível que seu ciclo diurno esteja marcado pela fotossíntese realizada pelas microalgas marinhas, e, consequentemente pelos fluxos de CO<sub>2</sub> entre a interface ar – mar.

A densidade molar de vapor d'água (Figura 14) e a radiação gama I, medida a 0,35m de altura (Figura 16) mostram aparente dependência da temperatura do ar (Figura 8).



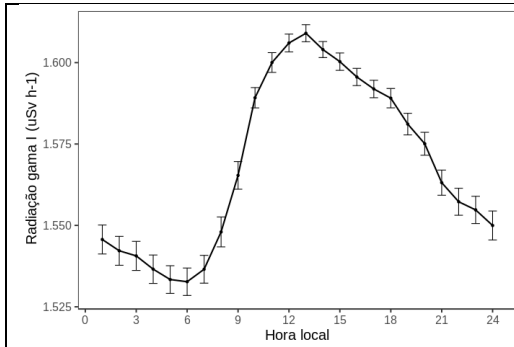
**Figura 14:** Média horária da densidade molar de H<sub>2</sub>O.



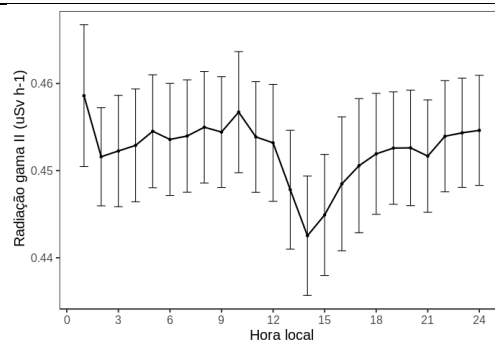
**Figura 15:** Média horária da densidade molar de CO<sub>2</sub>.

A radiação gama I (Figura 16) exibe máximo de  $1,609 \pm 0,002 \mu\text{Sv h}^{-1}$  às 13h, mínimo  $1,532 \pm 0,002 \mu\text{Sv h}^{-1}$  às 6h ao passo que gama II (Figura 17) oscila no ciclo entre  $0,458 \pm 0,008 \mu\text{Sv h}^{-1}$  e  $0,442 \pm 0,006 \mu\text{Sv h}^{-1}$ . A radiação gama II, amostrada a 3,0m de altura, apresenta valores e gradiente diurnos pequenos, relativo ao gradiente e

às magnitudes encontradas para gama no nível de coleta mais baixo, gama I (0,35m), além de ter maiores erros estatísticos da média.



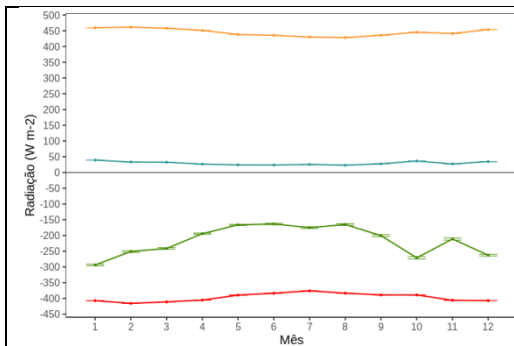
**Figura 16:** Média horária da radiação gama a 0.35m acima da superfície.



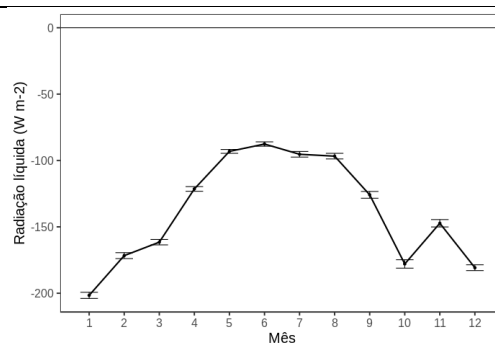
**Figura 17:** Média horária da radiação gama a 3m acima da superfície.

#### 4.2 Variação mensal

Na média das componentes radiativas (Figura 18), durante o período do verão, em fevereiro ocorrem os máximos de OLs ( $461,6 \pm 0,2 \text{ W m}^{-2}$ ) e OLa ( $415,5 \pm 0,1 \text{ W m}^{-2}$ ); em janeiro de OCi ( $293,6 \pm 2,8 \text{ W m}^{-2}$ ) e OCr ( $39,3 \pm 0,4 \text{ W m}^{-2}$ ), e ainda uma queda em novembro, que pode estar relacionada ao aumento de nuvens. A radiação líquida (Figura 19) apresenta máximo valor em janeiro, com valores mínimos em junho, acompanhando a progressão da OCi, mas é negativa ao longo de todo ano. Esse comportamento da média mensal de radiação líquida indica que a atmosfera superficial está sempre se aquecendo durante o ano, principalmente no período do verão.

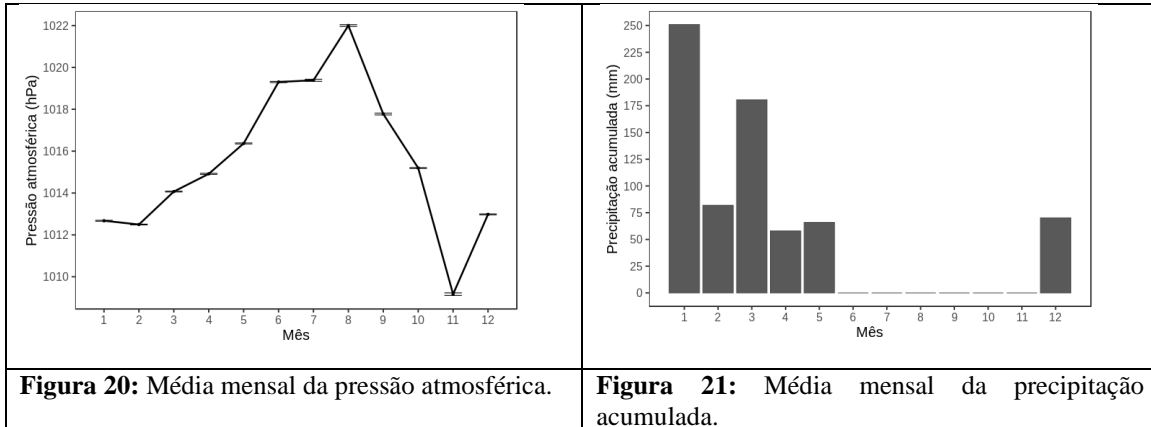


**Figura 18:** Média mensal da radiação de onda curta incidente (verde); refletida (azul), onda longa emitida pela superfície (laranja), e onda longa emitida pela atmosfera (vermelho).



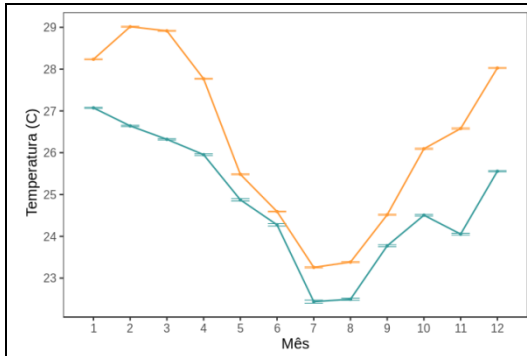
**Figura 19:** Média mensal da radiação líquida.

Os meses de outono e inverno na costa leste da América do Sul em latitudes médias, são marcados pelo deslocamento da Alta subtropical do Atlântico Sul adentrando mais o continente do que nas outras estações (Peixoto & Oort, 1992), e isso é identificado no ciclo anual de pressão (Figura 20), com máximo em agosto (1022,00±0,04 hPa) e também no regime de chuvas (Figura 21). O máximo de chuvas ocorre durante o verão com 250mm/mês para janeiro.

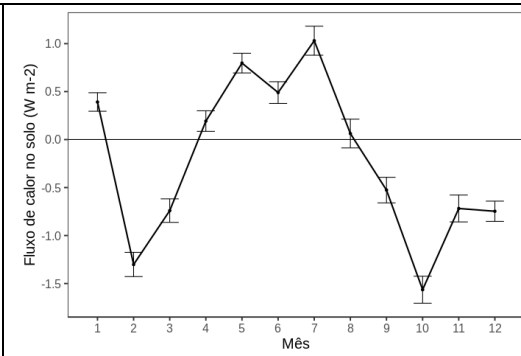


Na temperatura do ar e do solo (Figura 22) a amostragem exhibe sazonalidade, as temperaturas são elevadas no verão e primavera com máximos de Tar em janeiro (27,07±0,01 °C), de Ts em fevereiro (29,01±0,01 °C), e menores no outono e inverno, com mínimas temperaturas mensais em julho (22,44±0,01 °C e 23,25±0,15 °C). Durante todo o ano, a Ts é superior a Tar.

As camadas de solo superficiais se apresentam mais quentes do que as camadas de solo mais profundas durante todo o verão (de setembro a março), refletido no sentido do fluxo de calor do solo (Figura 23). A maior perda de calor da camada superficial ocorre em outubro (1,6±0,1 W m<sup>-2</sup>) relacionado ao aumento de OC<sub>i</sub> incidente na superfície logo após o inverno. De abril a agosto, a superfície é aquecida pelas camadas mais profundas do solo.

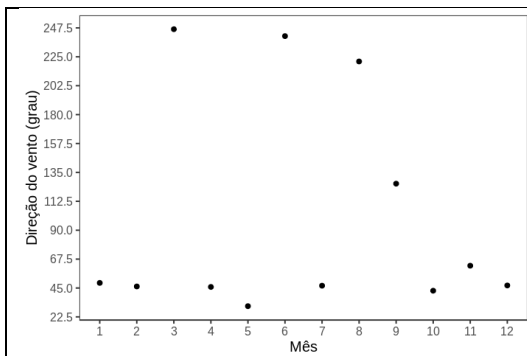


**Figura 22:** Média mensal das temperaturas do solo (laranja) e do ar (azul).

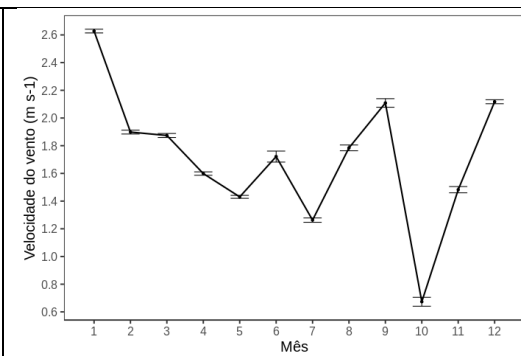


**Figura 23:** Média mensal do fluxo de calor no solo.

A direção do vento é do setor NE a maior parte do ano (Figura 24), com exceção de março, junho e agosto que apresentam ventos do setor WSW. Em setembro, ventos do setor SE provavelmente estão relacionados à aproximação de frentes frias pelo oceano Atlântico Sul. A magnitude do vento sobre a região (Figura 25) é pouco intensa com a média de vento mais intenso ocorrendo em janeiro ( $2,63 \pm 0,01 \text{ m s}^{-1}$ ) e o menos intenso em outubro ( $0,67 \pm 0,03 \text{ m s}^{-1}$ ), ambos relacionados a NE.



**Figura 24:** Média mensal da direção do vento

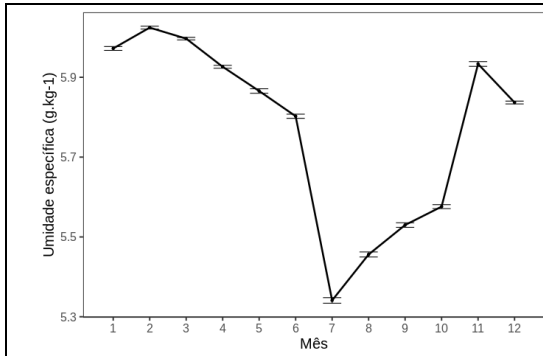


**Figura 25:** Média mensal da intensidade do vento.

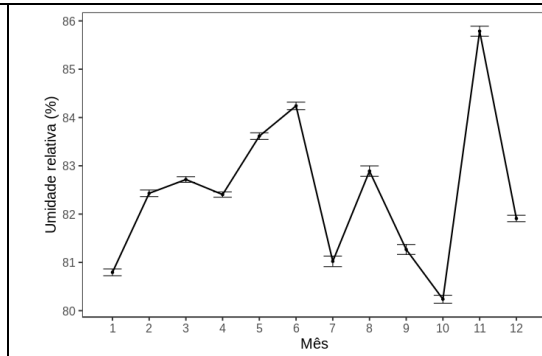
Observou-se que os meses úmidos (Figura 26 e Figura 27), estão relacionados ao escoamento entre NE/E, ocorrem umidade relativa máxima ( $85,8 \pm 0,1\%$ ) e umidade específica relativamente mais alta ( $5,933 \pm 0,005 \text{ g kg}^{-1}$ ) no mês de novembro, período associado a escoamento aproximadamente de leste.

A umidade específica mínima ocorre em julho ( $5,300 \pm 0,007 \text{ g kg}^{-1}$ ), mesmo mês que ocorre o máximo de densidade molar de vapor (Figura 28), cuja média foi  $1140 \pm 4 \text{ mmol m}^{-3}$ .



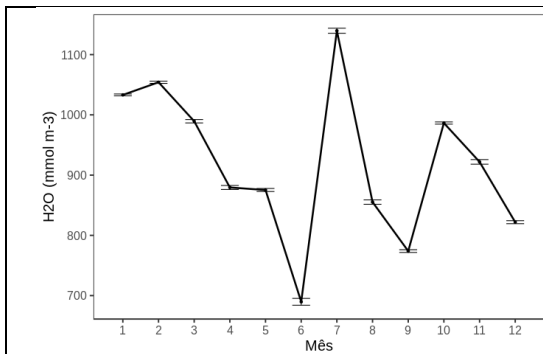


**Figura 26:** Média mensal da umidade específica.

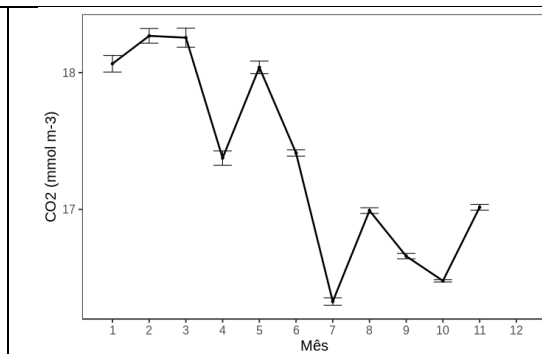


**Figura 27:** Média mensal da umidade relativa.

No ciclo anual, a densidade molar de  $\text{CO}_2$  (Figura 29) oscila entre 18,3 e 16,3  $\text{mmol m}^{-3}$ , exibindo valor mínimo em julho ( $16,326 \pm 0,002 \text{ mmol m}^{-3}$ ). Parece haver relação linear entre  $\text{CO}_2$  e a velocidade do vento para o período que compreende inverno e primavera, então seria interessante investigar mais profundamente se existe essa dependência, se ela está associada a outras variáveis e restrita a algum intervalo de intensidades do vento.



**Figura 28:** Média mensal da densidade molar de  $\text{H}_2\text{O}$ .



**Figura 29:** Média mensal da densidade molar de  $\text{CO}_2$ .

Devido a problemas técnicos, não houve dados suficientes para média mensal estatisticamente representativa para as variáveis gama I (0,35m) e gama II (3,0m). O conjunto de dados será melhorado com o aumento das medidas, e uma análise mais segura poderá ser feita futuramente na pesquisa.

### 4.3 Considerações finais

Meápe é uma região costeira, localizada acima do trópico de capricórnio e que integra uma região entre latitudes médias e região tropical. O regime atmosférico

apresenta um ciclo diurno bem marcado pelo ciclo solar, com ventos preferencialmente do setor norte, nordeste e evolução para setor leste no período da tarde. No seu ciclo anual percebe-se predominância de altas temperaturas, altas pressões. A variação da radiação gama sugere a participação da atmosfera na redistribuição espacial e temporal dos mesmos.

Como continuidade do trabalho pretende-se:

- Utilizar correlações estatísticas para obter mais informações a respeito do conjunto de dados, e refinar as análises;
- Obter o balanço de energia cinética;
- Obter as escalas características da CLS em questão;
- Determinar os principais fluxos turbulentos.

## **Agradecimentos**

- Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) Edital 021/2018, TO. 098/2019.
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), programa Proex.

## **5. Referência bibliográfica**

Bourguignon, L. N. Meaípe, breve histórico. (2019).

Codato, G., Soares, J. (2019). Observational Campaign of the FluTuES project-Torre Meaípe.

International Atomic Energy Agency (2001), Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Safety Reports Series No. 19, IAEA, Vienna.

Kaimal, J. C., Finnigan, J. J. (1994). Atmospheric boundary layer flows: their structure and measurement. Oxford university press.

Oke, T. R. (2002). Boundary layer climates. Routledge.

Orlando, M. T. D., Cavichini, A. S., Passos, C. A. C., Orlando, C. G. P., Passamai, J. L., & Santos, M. A. (2014). Correlation between Breast Cancer and Radiation Level of Guarapari City-ES-Brazil. Blucher Physics Proceedings, 1(2), 41-43.

Peixoto, J. P., Oort, A. H. (1992). Physics of climate.

Schery, S. D. (1990). Thoron in the environment. Journal of the Air & Waste Management Association, 40(4), 493-497.

Sears, F. W. (1975). Thermodynamics, kinetic theory, and statistical thermodynamics. Addison-Wesley.

Soares, J., Ribeiro, F. N. D., Codato, G.(2019a). Investigation of the surface-atmosphere interaction on the coastal region of the monazite sands of Meaípe, Guarapari (ES) - preliminary results. In: 9º WORKSHOP DE CRISTALOGRAFIA APLICADA A CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 2019, Guarapari. Blucher Material Science Proceedings. São Paulo: Editora Blucher, 2019. p. 33.

Soares, J., Orlando, M. T. D., Gouvea, S. A. (2019b). Project Monazite sands of Meaípe, Guarapari, ES. In: 9º WORKSHOP DE CRISTALOGRAFIA APLICADA A

CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE MATERIAIS, 2019, Guarapari. Blucher Material Science Proceedings. São Paulo: Editora Blucher, 2019. p. 38.

Sorbjan, Z. (1989). Structure of the atmospheric boundary layer (No. 551.51 SOR).

Stull, R. B. (1988). An introduction to boundary layer meteorology. Kluwer Academic Press, Dordrecht 666pp.

Stull, R. (2015). Practical meteorology. An algebra-based survey of atmospheric science. University of British Columbia, Columbia. Safety report n19.

UNSCEAR (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Health Phys, 79(3), 314.

Yamasoe, M. A., Corrêa, M. D. P. (2016). Processos Radiativos na Atmosfera. Fundamentos.