

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

THAMIRES PACHECO SILVA

ESTUDO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA CAMADA LIMITE LITORÂNEA
DA REGIÃO NORTE FLUMINENSE

Macaé, março de 2019

THAMIRES PACHECO SILVA

ESTUDO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA CAMADA LIMITE LITORÂNEA
DA REGIÃO NORTE FLUMINENSE

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores

Orientador: Isimar de Azevedo Santos

Macaé, março de 2019

THAMIRES PACHECO SILVA

ESTUDO DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA CAMADA LIMITE LITORÂNEA
DA REGIÃO NORTE FLUMINENSE

Monografia apresentada ao Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Ciências Atmosféricas para Engenheiros, Ambientalistas e Educadores

Aprovada em 11 de março de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Eliane Barbosa Santos (D.Sc., Ciências Climáticas) - UENF

Prof. Nivaldo Silveira Ferreira (D.Sc., Meteorologia) - UENF

Prof. Isimar de Azevedo Santos (D.Sc., Ciências Atmosféricas) – UENF
(PROFESSOR ORIENTADOR)

A minha mãe e mestres,
com carinho dedico.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pela força e coragem durante o curso.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pelo ensino gratuito e de qualidade.

A minha mãe pelo incentivo e apoio nesta etapa da minha vida.

Ao meu orientador Isimar de Azevedo Santos pela disponibilidade, paciência e por prestar toda orientação e esclarecimentos necessários para a execução deste trabalho.

Aos professores do curso que compartilharam seus conhecimentos em sala de aula com dedicação e comprometimento.

Aos amigos e colegas de classe pela companhia e motivação diária.

RESUMO

Este trabalho visou estudar a Camada Limite Atmosférica (CLA) na região litorânea do Norte Fluminense. Para tanto foram consideradas três localidades: ponto A (Serra de Macabu em Santa Maria Madalena, 22°S, 42°W), ponto B (nas proximidades do Farol de São Thomé, 22°S, 41°W) e ponto C (no Oceano Atlântico Sul a aproximadamente 100 km da costa, 22°S, 40°W). A partir dos dados diários das reanálises meteorológicas do *Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)* do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)*, foram calculadas médias mensais de variáveis meteorológicas para as estações de verão e inverno do ano de 2018 para analisar o comportamento das mesmas na CLA. As médias mensais das reanálises permitiram diagnósticos nos quatro horários sinóticos (0, 6, 12 e 18 UTC), através de perfis verticais e mapas horizontais das grandezas meteorológicas temperatura, umidade, pressão e vento. Os resultados permitiram analisar o comportamento das variáveis termodinâmicas e dinâmicas da CLA no setor Norte Fluminense, tanto no ciclo diurno (horários sinóticos) quanto no ciclo anual (inverno e verão). A temperatura do ar, a umidade relativa e a altura da CLA variaram ao longo do dia em decorrência da incidência de radiação solar e da emissão de radiação de onda longa.

PALAVRAS-CHAVE: Camada Limite Atmosférica; reanálises; variáveis meteorológicas.

ABSTRACT

This work aimed to study the Atmospheric Boundary Layer (ABL) in the northern coastal region of the Rio de Janeiro state. For this purpose, three locations were considered: point A (Serra de Macabu in Santa Maria Madalena, 22 ° S, 42 ° W), point B (near Farol de São Thomé, 22 ° S, 41 ° W) and point C (in the South Atlantic Ocean about 100 km off shore, 22 ° S, 40 ° W). We used meteorological daily data from the Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) of the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) to calculate monthly averages of the meteorological variables for the summer and winter seasons of 2018 in order to analyze the behavior of these variables at the ABL. Those monthly averages of the reanalyze data allowed some diagnoses for the four synoptic times (0, 6, 12 and 18 UTC), through vertical profiles and horizontal maps of the relevant meteorological fields. The results allowed to analyze the behavior of the ABL thermodynamic and dynamic variables in the northern sector of the Rio de Janeiro state, both for the diurnal cycle (synoptic times) and for the annual cycle (winter and summer). Air temperature, relative humidity and ABL height variate along the day in response to the solar radiation and terrestrial long wave emission.

KEY-WORDS: Atmospheric Boundary Layer, reanalyzes; meteorological variables.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Subdivisão da Troposfera para médias latitudes.	17
Figura 2.2 - Centros de alta e baixa pressão na CLA.	19
Figura 2.3 - Perfil da camada limite atmosférica.	19
Figura 2.4 - Representação esquemática das brisas marítima e terrestre.	20
Figura 3.1 - Localização dos pontos de estudo.	22
Figura 4.1 - Temperatura do ar às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	24
Figura 4.2 - Temperatura do ar às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	25
Figura 4.3 - Temperatura do ar às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	25
Figura 4.4 - Temperatura do ar às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	26
Figura 4.5 - Umidade específica às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	27
Figura 4.6 - Umidade específica às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	27
Figura 4.7 - Umidade específica às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	28
Figura 4.8 - Umidade específica às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	28
Figura 4.9 - Umidade relativa às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	29
Figura 4.10 - Umidade relativa às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	29
Figura 4.11 - Umidade relativa às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	30
Figura 4.12 - Umidade relativa às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	30
Figura 4.13 - Temperatura potencial às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	31

Figura 4.14 - Temperatura potencial às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	31
Figura 4.15 - Temperatura potencial às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	32
Figura 4.16 - Temperatura potencial às 18 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	32
Figura 4.17 - Variação geopotencial entre às 0 e 18 UTC (21 e 15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	33
Figura 4.18 - Variação geopotencial entre às 6 e 0 UTC (3 e 21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	34
Figura 4.19 - Variação geopotencial entre às 12 e 6 UTC (9 e 3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	34
Figura 4.20 - Variação geopotencial entre às 18 e 12 UTC (15 e 9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	35
Figura 4.21 - Altura da CLA às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	36
Figura 4.22 - Altura da CLA às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	36
Figura 4.23 - Altura da CLA às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	37
Figura 4.24 - Altura da CLA às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	37
Figura 4.25 - Ventos às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	38
Figura 4.26 - Ventos às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	39
Figura 4.27 - Ventos às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	39
Figura 4.28 - Ventos às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	40
Figura 4.29 - Componente meridional do vento às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	41
Figura 4.30 - Componente meridional do vento às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	41
Figura 4.31 - Componente meridional do vento às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	42

Figura 4.32 - Componente meridional do vento às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	42
Figura 4.33 - Componente zonal do vento às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	43
Figura 4.34 - Componente zonal do vento às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	43
Figura 4.35 - Componente zonal do vento às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	44
Figura 4.36 - Componente zonal do vento às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão	44
Figura 4.37 - Rosa-dos-ventos para o verão no ponto A (22S, 42W), no continente.	45
Figura 4.38 – Rosa dos ventos para o verão no ponto B (22S, 41W), no litoral.	46
Figura 4.39 – Rosa dos ventos para o verão no ponto C (22S, 40W), no oceano.	46
Figura 4.40 – Rosa dos ventos para o inverno no ponto A (22S, 42W), no continente.	47
Figura 4.41 – Rosa dos ventos para o inverno no ponto B (22S, 41W), no litoral.	47
Figura 4.42 – Rosa dos ventos para o inverno no ponto C (22S, 40W), no oceano.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Coordenadas geográficas dos pontos A, B e C

Tabela 4.1 – Distribuição das frequências da velocidade dos ventos à 10m da superfície por classes de intensidade.

LISTA DE SIGLAS

CLA	Camada Limite Atmosférica
CLC	Camada Limite Convectiva
CLN	Camada Limite Noturna
CLO	Camada Limite Oceânica
CLP	Camada Limite Planetária
CLS	Camada Limite Superficial
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CR	Camada Residual
GrADS	Grid Analysis and Display System
NCEP	National Center for Environmental Prediction
UENF	Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
UTC	Coordinated Universal Time
WRPLOT	Wind Rose Plots for Meteorological Data

LISTA DE SÍMBOLOS

C_p	Calor específico do ar seco a pressão constante
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
g	Gramma
hPa	hectoPascal
kg	Quilograma
km	Quilômetro
K	Kelvin
m	Metro
P	Pressão atmosférica
R	Constante universal dos gases
s	Segundos
T	Temperatura do ar
θ	Temperatura potencial do ar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Camada limite atmosférica	17
2.2. Brisa marítima e terrestre	20
2.3. Variáveis meteorológicas	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1. Materiais	22
3.2. Métodos	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Análise dos Perfis Termodinâmicos da CLA	24
4.1.1. Perfis verticais da temperatura	24
4.1.2. Perfis verticais da umidade específica	26
4.1.3. Perfis verticais da umidade relativa	29
4.1.4. Perfis verticais da temperatura potencial	31
4.2. Perfis Verticais das Variáveis Dinâmicas	33
4.2.1. Perfis verticais das variações do geopotencial	33
4.2.2. Perfis da componente meridional do vento	36
4.2.3. Perfis da componente zonal do vento	38
4.3. Mapas das Variáveis Meteorológicas na CLA	40
4.3.1. Altura da Camada Limite Atmosférica	40
4.3.2. Mapas dos ventos Superficiais	42
4.4. Análise das Rosas dos Ventos	45
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

Desde o primeiro suspiro os seres humanos passam a maior parte de suas vidas próximo à superfície da Terra, sentindo o calor do sol durante o dia e o frio do ar durante a noite. É aqui onde suas colheitas são cultivadas, suas casas são construídas e onde a maior parte do comércio acontece. Crescemos familiarizando-nos com as brisas e os microclimas locais, e sentimos os contrastes quando nós viajamos para outros locais.

Nos últimos anos, pesquisadores têm se interessado em analisar a estrutura da atmosfera próximo da superfície, especialmente para detalhar os fenômenos que ocorrem nas camadas atmosféricas mais próximas da superfície. O estudo do comportamento das variáveis meteorológicas (temperatura, umidade, pressão e vento) ao longo do dia, em diferentes estações do ano e em diferentes localidades, são fatores de motivação de análise, principalmente em regiões litorâneas.

A Troposfera é a camada mais baixa da atmosfera, é nela que maior parte dos fenômenos meteorológicos acontece devido a diversos fatores, como a presença elevada de vapor de água, fenômenos climáticos (formação de nuvens, chuvas, relâmpagos), aquecimento e resfriamento por radiação. Quase todos os poluentes emitidos próximos à superfície terrestre são transportados e dispersos em uma camada muito estreita da troposfera, chamada de Camada Limite Atmosférica (CLA), foco de estudo da Micrometeorologia.

A CLA possui uma espessura em torno de 2 km, onde no seu interior os ventos sofrem pouca influência do escoamento do ar de cima (topo da camada limite atmosférica e atmosfera livre), dos efeitos da topografia, fricção e troca de calor com a superfície (SILVA, 2017).

A porção inferior da camada limite é denominada de Camada Limite Superficial (CLS), estende-se por não mais que 100 – 150 m acima da superfície. A CLS se caracteriza pela turbulência induzida através de forçantes que atuam sobre ela e em seu contorno inferior, que determinarão a existência de gradientes verticais de temperatura, umidade e velocidade do vento, entre outras grandezas físicas (STULL, 1988).

O presente trabalho tem como objetivo estudar o comportamento da CLA na região do Litoral Norte Fluminense a partir de variáveis meteorológicas, tais como temperatura, umidade do ar, vento e pressão. Perfis verticais, mapas e rosas dos ventos foram gerados para analisar a atuação destas variáveis em três localidades do Norte Fluminense: continente, litoral e oceano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Camada Limite Atmosférica

A camada atmosférica mais próxima à superfície terrestre é conhecida como troposfera. Nela os meteorologistas realizam a maior parte dos seus estudos de tempo e de clima. É no limite inferior da troposfera, região mais próxima da superfície da Terra, que se encontra a Camada Limite Atmosférica (CLA) ou Camada Limite Planetária (CLP). Ela está presente acima tanto de uma superfície de terra quanto de uma superfície de água, conhecida como Camada Limite Oceânica (CLO) (SILVA, 2017).

A espessura da Camada Limite é bastante variável no espaço e no tempo. Normalmente 1 ou 2 km de espessura (isto é, ocupando os 10 ou 20% da troposfera) podendo variar de dezenas de metros a 4 Km ou mais (STULL, 1988). A figura 2.1 representa a localização aproximada da camada limite atmosférica.

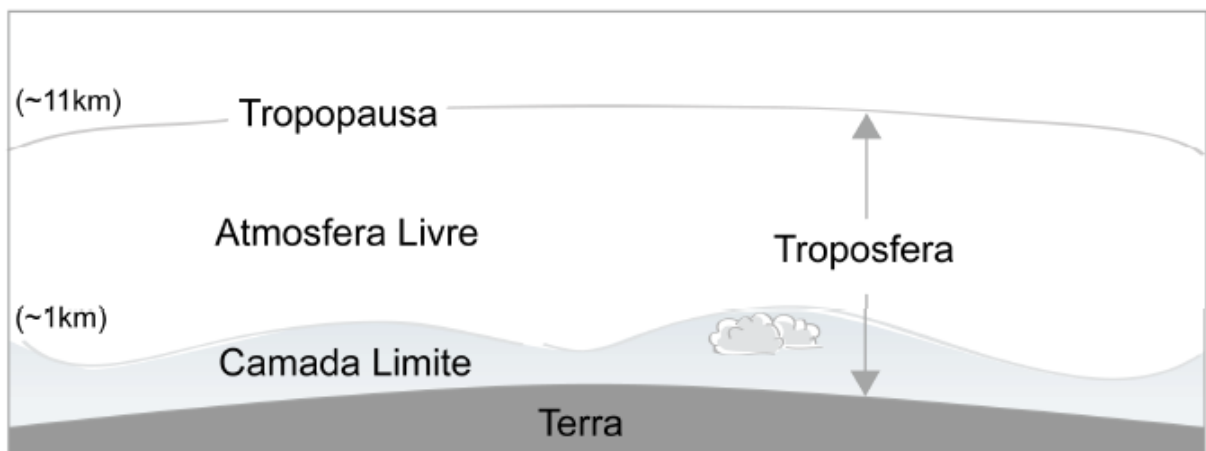


Figura 2.1: Subdivisão da Troposfera para médias latitudes. Fonte: Adaptada de Stull, 1988

Quando se estuda a camada limite atmosférica é possível identificar que sua altura não é constante, varia com o tempo e localização geográfica. Diante disso, diversos fatores contribuem para que isso ocorra, como a aceleração de Coriolis, velocidade do vento, rugosidade da superfície e processos de troca de calor (HOLTON, 2004).

A CLA é a região diretamente influenciada pelas trocas de *momentum*, calor e vapor d'água que correm entre a superfície terrestre e a atmosfera. Os movimentos turbulentos horizontais e verticais estão presentes na camada limite e são responsáveis pela dispersão eficiente dos poluentes que acompanham a vida moderna. Esses movimentos turbulentos

ocorrem numa escala temporal de uma hora ou menos. Ações que conduzem estas trocas entre atmosfera e superfície incluem atrito com a superfície, evapotranspiração, transpiração, transferência de calor, emissão de poluentes e modificações no escoamento induzido pela topografia. (BERNARDES, 2004).

No ciclo solar diurno, a superfície terrestre é aquecida pela radiação solar, onde transporta verticalmente calor para a atmosfera mais fria. Este transporte resulta em um aumento da espessura da CLA em aproximadamente 2 km (GUERRA, 2008). No período da noite, a espessura da camada limite é bem menor que durante o dia, até menos que 100m. Isto ocorre, devido à influência do resfriamento do solo durante a noite por emissão de radiação infravermelha.

Nos oceanos, a altura da CLA possui uma variação mais lenta no tempo e no espaço. Isto ocorre porque a temperatura da superfície da água apresenta pouca variação diurna, pois a água possui uma alta capacidade calorífica, aumentando assim a quantidade de calor incidente do sol que é absorvida pelo oceano.

Nas superfícies continentais e nos oceanos, a CLA tende a ser mais espessa sobre regiões de baixa pressão e mais fina sobre regiões de alta pressão. O movimento subsidente e a divergência horizontal em baixos níveis associados a regiões de alta pressão fazem com que o ar se movimente para fora da região de alta pressão e o topo da CLA desça. Essas profundidades mais baixas da CLA são, frequentemente, associadas com regiões livres de nuvens. Em áreas de baixa pressão, os movimentos ascendentes transportam o ar para as partes mais superiores da troposfera, fazendo com que o topo da CLA suba (STULL, 1988).

A Figura 2.2, mostra a dinâmica da CLA quando se refere a centros de alta e baixa pressão.

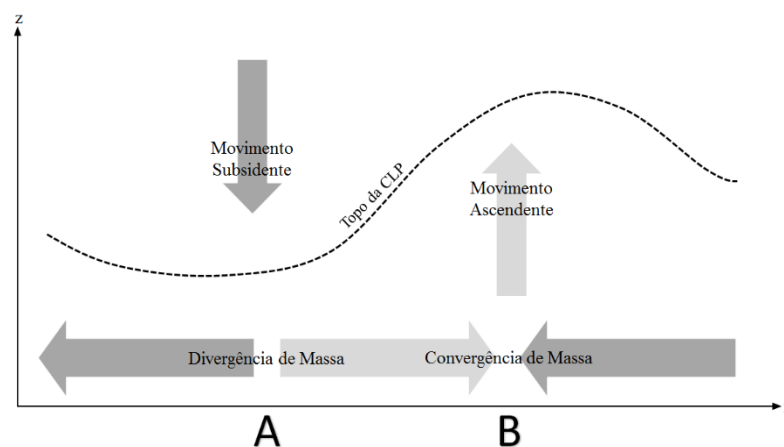


Figura 2.2: Centros de alta e baixa pressão na CLA (Fonte adaptada de Stull, 1988).

Quanto à estrutura da CLA (ver Figura 2.3), podemos observar que sobre o continente é, geralmente, bem definida quando se trata do seu ciclo diurno, cujos principais componentes são: a camada de mistura ou camada limite convectiva (CLC), a camada residual (CR) e a camada limite estável ou noturna (CLN). A parte inferior da camada limite é chamada de camada limite superficial (CLS) (STULL,1988).

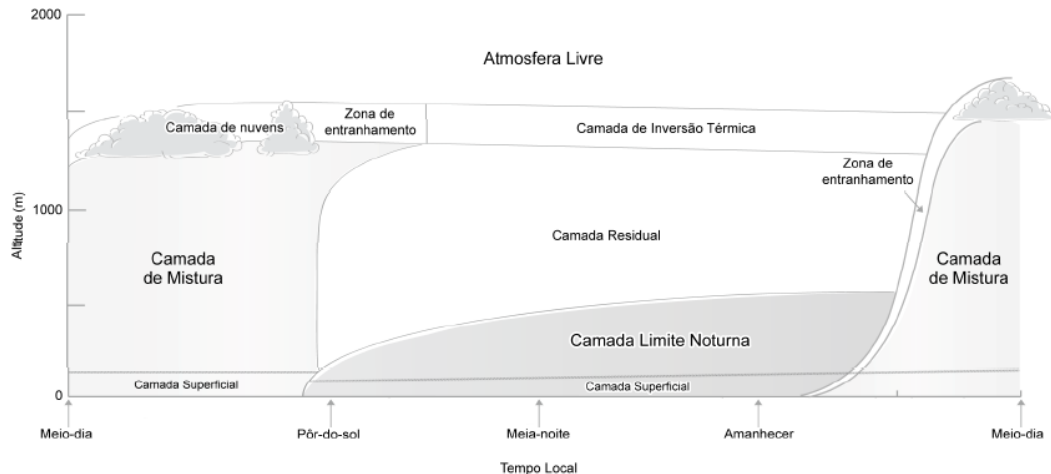


Figura 2.3: Perfil da camada limite atmosférica (Adaptada de Stull,1988).

A CLC ocorre durante o dia, quando a superfície da terra é aquecida pela radiação solar. Ao longo do dia, esta camada se desenvolve atingindo no fim da tarde uma altura máxima. Devido ao forte aquecimento da superfície, ocorre a formação das termas e plumas que se formam a partir da instabilidade térmica ou convecção. Com isso, provocam o movimento ascendente e o movimento descendente se forma devido ao resfriamento radiativo no topo das nuvens, podendo atingir extensões de 1 ou 2 km. Já a CR ocorre durante a noite e sua extensão não é bem definida. Ela não tem contato com o solo, pois se encontra acima da camada limite noturna. Quando termina a formação das termas, um pouco antes do pôr do sol, a turbulência também é interrompida e a camada de ar que se forma é a camada residual. A CLN ocorre à noite através do resfriamento da superfície por meio da emissão de radiação de onda longa para o espaço. Independentemente do período, a CLS é contínua e possui gradientes verticais de umidade, temperatura e velocidade do vento (STULL, 1988).

A variação da temperatura do ar ao longo do dia próximo à superfície é controlada pela incidência de radiação solar e pela emissão de radiação no infravermelho pela Terra. Durante o dia, a superfície se aquece enquanto a incidência de radiação solar que chega à superfície for maior que a emitida pela mesma. À noite, a superfície se resfria enquanto a emissão de radiação da Terra for maior que a incidente (YNOUE et al.,2017).

A umidade específica do ar é a quantidade de vapor d'água presente no ar, sendo medida por gramas de vapor por quilogramas de ar seco (g/kg). Na CLA esta umidade é maior próximo ao topo da CLA e menor na parte inferior da camada limite, pelo fato da evaporação acontecer na superfície. Já a umidade relativa do ar varia muito no decorrer do dia, tanto na superfície continental quanto na superfície oceânica (YNOUE et al.,2017).

A pressão em qualquer altitude na atmosfera é igual ao peso do ar acima dessa altitude. À medida que se ascende na atmosfera, o ar torna-se menos denso, uma vez que a força de gravidade empurra o ar em direção à superfície terrestre. Portanto, há um decréscimo da pressão com a altitude. A variação da pressão com a altitude não é constante: a taxa de decréscimo é muito maior próximo à superfície, onde a pressão é mais alta, do que em níveis mais elevados (YNOUE et al.,2017).

Em muitos locais, os ventos fluem mais frequentemente de uma determinada direção. A direção do vento observado que apresenta maior frequência durante um período de tempo é chamada de direção predominante, e este vento predominante caracteriza o clima de uma região. Estes ventos predominantes podem ser representados por rosas dos ventos que indicam a porcentagem de tempo que o vento flui de uma determinada direção (YNOUE et al.,2017).

2.2. Brisas marítima e terrestre

A evolução diurna da CLA representada na figura 2.3 não contempla entre outras singularidades, os efeitos das brisas que ocorrem em regiões próximas a grandes volumes de água, que podem alterar substancialmente o comportamento do perfil da atmosfera, criando outra camada de temperatura menor e acima da camada superficial. Essa camada fria (devido à brisa marítima), que pode surgir ao longo do dia, consegue adentrar por vários quilômetros sobre áreas próximas da costa, aprisionando os poluentes emitidos na camada superficial ou reintroduzindo os aerossóis lançados acima desta camada, porém próximos da interface (BERNARDES, 2004).

A brisa é uma circulação atmosférica gerada por diferença de temperatura entre o continente e oceano. Durante o dia, a radiação solar faz com que a superfície da terra se aqueça mais que a superfície do mar. Este aquecimento do ar acima desta superfície produz uma baixa (pressão) térmica e rasa. O ar sobre a água permanece mais frio que o ar sobre a terra, se formando assim uma alta (pressão) térmica. Cria-se assim uma diferença de pressão entre ambas as superfícies, originando um deslocamento do ar da água para a terra, denominada de brisa marítima (AHRENS, 1993).

Durante a noite, a superfície da terra se resfria mais que a superfície do mar. Como o ar sobre a terra torna-se mais frio que o ar sobre a água, formasse uma alta (pressão) térmica, como mostra a figura 2.4. Como pressões agora mais altas estão sobre a terra, o vento se inverte originando um deslocamento do ar da terra para a água, denominada de brisa terrestre. (AHRENS, 1993).

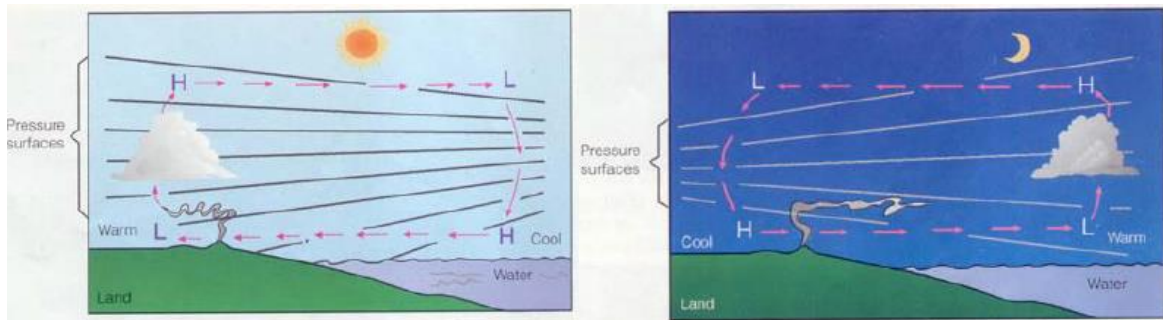


Figura 2.4: Representação esquemática das brisas marítima e terrestre.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

O Litoral do Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro é a região de estudo deste trabalho. Para isso foram considerados três pontos: o primeiro no continente, identificado como ponto A, na região de Serra de Macabu em Santa Maria Madalena, o segundo no litoral, denominado como ponto B, nas proximidades de Farol de São Thomé e o terceiro no oceano do Atlântico Sul, chamado de ponto C. Os três pontos encontram-se na mesma latitude e os pontos A e C estão a 100 km de distância do ponto B, conforme tabela 3.1.

Tabela 3.1: Coordenadas geográficas dos pontos A, B e C.

Localização	Coordenadas
Ponto A- (continente)	22° S, 42°W
Ponto B - (litoral)	22° S , 41°W
Ponto C - (oceano)	22° S, 40°W



Figura 3.1: Localização dos pontos de estudo.

Neste trabalho, a partir de dados diários, foram calculadas médias mensais de variáveis meteorológicas (temperatura do ar, umidade, pressão e vento) da reanálise meteorológica Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) do National Center for Environmental Prediction (NCEP), no período compreendido entre as estações do ano de inverno e verão do ano de 2018, onde utilizou-se dados diários de reanálise de julho para representar o inverno e dados diários de reanálises de janeiro para representar o verão.

Uma reanálise é formada por uma base de dados em pontos de grade para um longo período que, combinados com os dados coletados em estações sinóticas, boias oceânicas, radiossondas, satélites e embarcações juntamente com os dados medidos, fornecem uma composição homogênea das observações disponíveis em todo o mundo (STÜKER, 2014).

Os arquivos foram compilados através do programa GrADS (Grid Analysis and Display System), considerando os dados de reanálise CFSR, disponibilizados com resolução de 50 km e resolução vertical correspondente aos seguintes níveis: 1000, 975, 950, 925, 900, 875 e 850 todos em hPa. Os dados das variáveis meteorológicas foram processados de acordo com os horários 0, 6, 12 e 18 UTC, que no Brasil correspondem às 21h, 3 h, 9 h e 15 h, respectivamente.

3.2. Métodos

Diante dos dados, foram gerados perfis verticais e mapas referentes aos dados de temperatura, umidade, pressão e vento nas três localidades Ponto A, Ponto B e Ponto C. Através do GrADS que é um software mais utilizado na área de pesquisas meteorológicas, pois permite a visualização e análise dos dados em pontos de grade nas quais as variáveis podem possuir até 4 dimensões (longitude, latitude, níveis verticais e tempo).

Para a análise do vento, usou-se o WRPLOT que é um software que possibilita a confecção das rosas dos ventos para conhecimento da direção e intensidade do vento em uma determinada região. Para a confecção das rosas dos ventos foram considerados dados dos ventos a 975 hPa da reanálise CFSR.

Foram criados perfis verticais para as seguintes variáveis: temperatura do ar (°C), temperatura potencial (K), umidade específica (g/kg), umidade relativa (%), altura geopotencial (hPa), componente meridional do vento (m/s) e componente zonal do vento (m/s) e mapas para a altura da camada limite (m), vento (m/s).

A variação da temperatura com a altura para uma parcela ascendente de ar seco deslocando-se adiabaticamente, isto é, sem trocar calor com a vizinhança, é uma propriedade básica da atmosfera. Esta relação para a variação vertical da temperatura é importante, pois serve como um perfil de temperatura de referência para a comparação com todos os perfis reais de temperatura. Utilizando a primeira lei da termodinâmica, (JAMES, 2004), obtiveram a fórmula da temperatura potencial, definida como:

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{R/c_p}$$

onde θ é a temperatura potencial, T é a temperatura do ar, P é a pressão atmosférica, R é a constante universal dos gases perfeitos e c_p é o calor específico do ar seco a pressão constante. A razão R/c_p para o ar seco é 0,286.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise dos Perfis Termodinâmicos da CLA

As figuras a seguir referem-se aos dados diários da reanálise CFSR, no ponto A: continente (22°S , 42°W), ponto B: litoral (22°S , 41°W) e ponto C: oceano (22°S , 40°W). Estas figuras apresentam as análises feitas para o inverno de 2018 onde o mês representativo para esta estação foi julho e para o verão de 2018 foi adotado o mês de janeiro para representar a estação. As observações foram feitas usando dados diários dos horários sinóticos 0, 6, 12 e 18 UTC, que no Brasil correspondem a 21 h, 3 h, 9 h e 15 h, respectivamente.

4.1.1. Perfis verticais da temperatura

As figuras 4.1 a 4.4 referem-se à temperatura do ar na Camada Limite Atmosférica nas estações de inverno e verão.

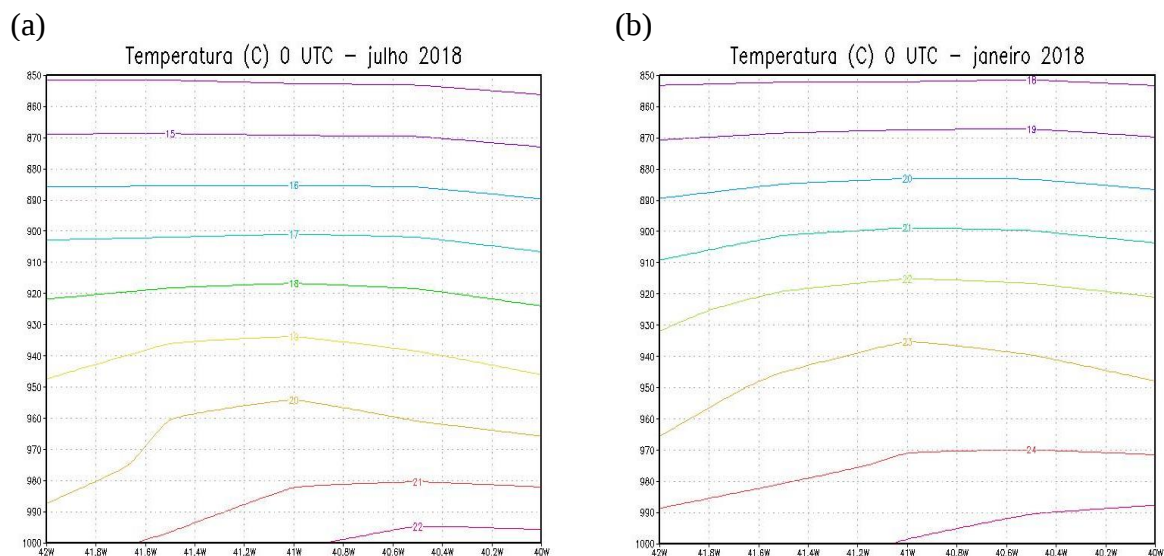


Figura 4.1: Temperatura do ar às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

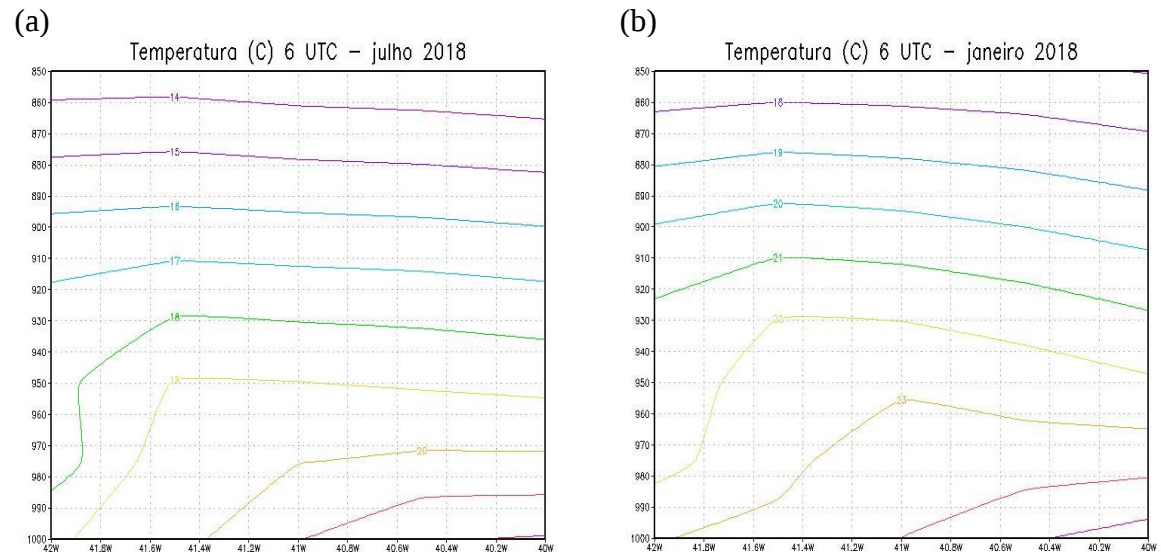


Figura 4.2: Temperatura do ar às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

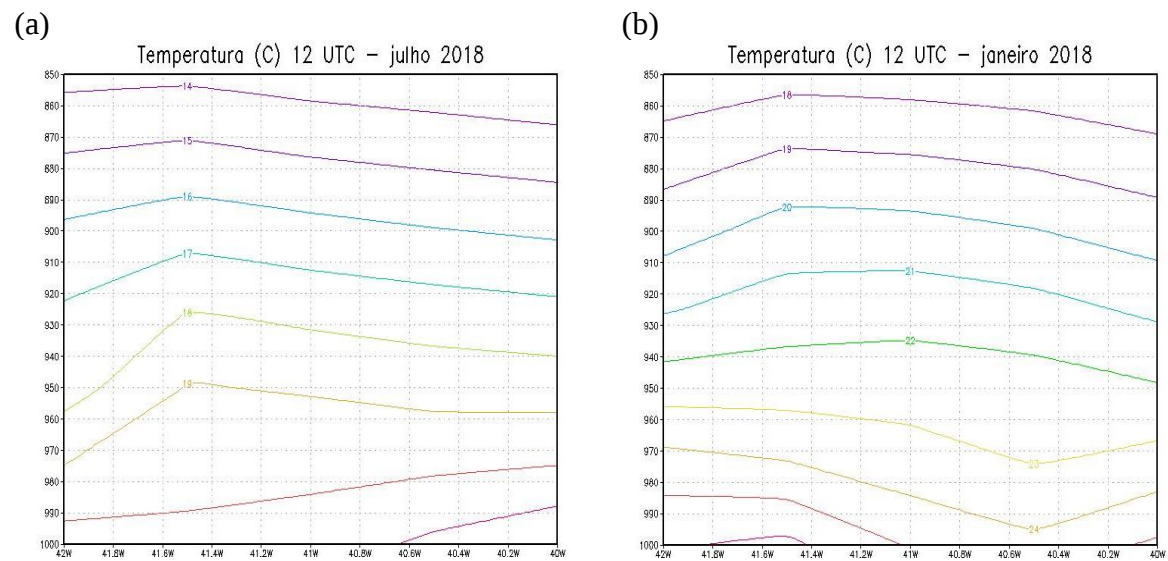


Figura 4.3: Temperatura do ar às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

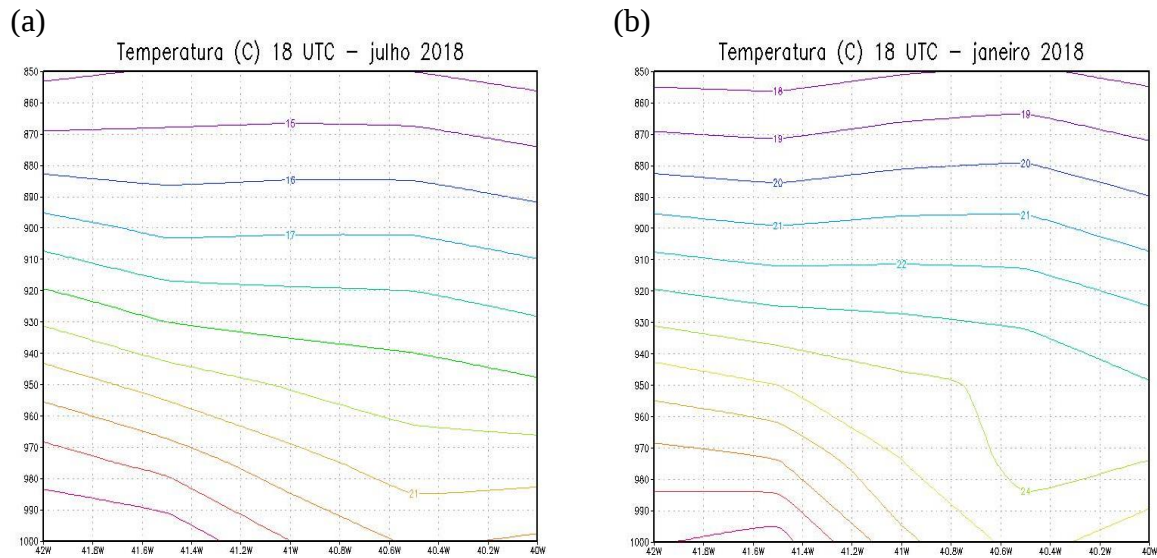


Figura 4.4: Temperatura do ar às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Com base nos quatros horários (0, 6, 12 e 18 UTC), temos que no verão as temperaturas em torno de 850 hPa ficam em 18°C e no inverno a 14°C. No continente, a temperatura vai diminuindo entre 20°C a 23°C ao longo da noite (0 UTC ou 21h) e (6 UTC ou 3h) devido o resfriamento radiativo da superfície terrestre e durante o dia (12 UTC ou 9h) e (18 UTC ou 15h) com o aquecimento solar a temperatura volta a aumentar. O resfriamento noturno é mais efetivo no continente e no litoral, no oceano quase não há variação.

4.1.2. Perfis verticais da umidade específica

As figuras 4.5 a 4.8 referem-se à umidade específica na Camada Limite Atmosférica nas estações de inverno e verão.

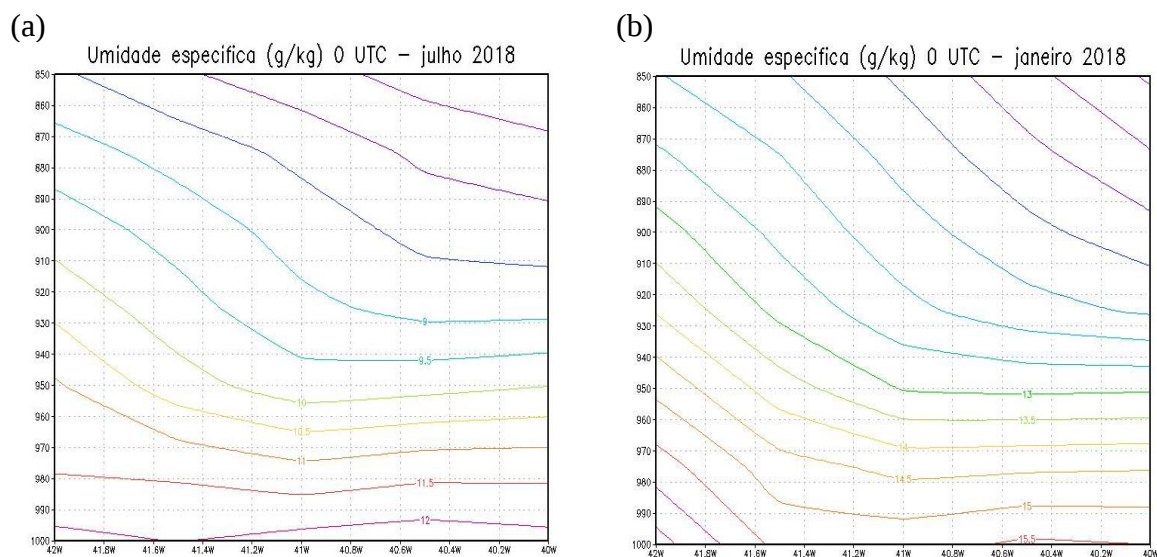


Figura 4.5: Umidade específica às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

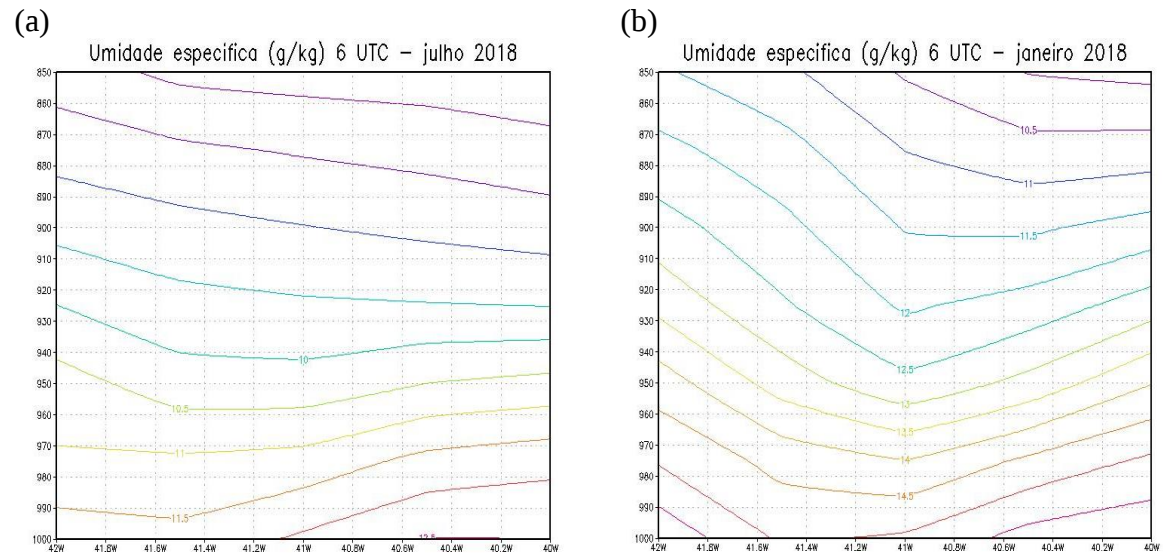


Figura 4.6: Umidade específica às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

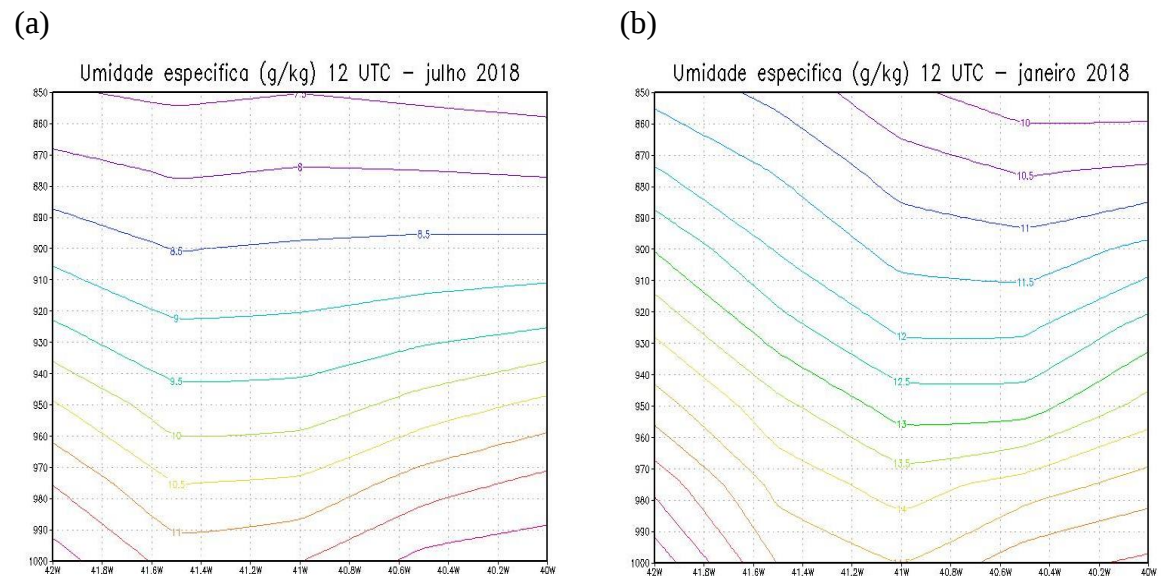
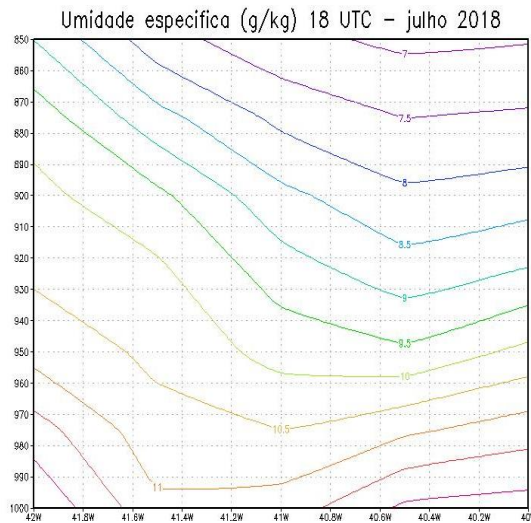


Figura 4.7: Umidade específica às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

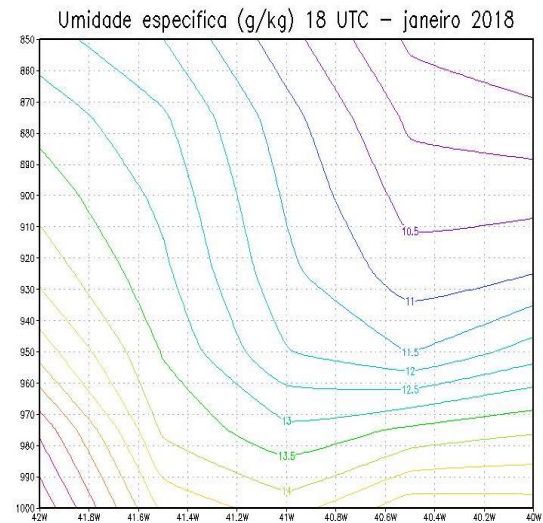


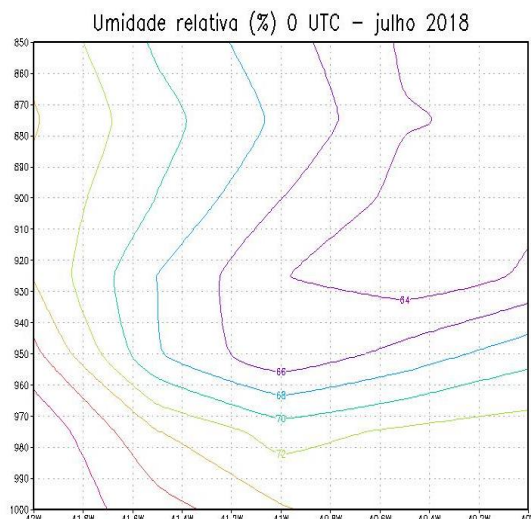
Figura 4.8: Umidade específica às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Nas figuras 4.5 a 4.8, os valores que se encontram nas isolinhas representam a quantidade de vapor d'água em gramas (g) para cada quilo (kg) de ar seco. Próximo ao topo da camada limite em 850 hPa a quantidade de água, na forma de vapor, presente no ar, é menor do que a quantidade de vapor d'água presente na superfície.

4.1.3. Perfis verticais da umidade relativa

As figuras 4.9 a 4.12 referem-se à umidade relativa na Camada Limite Atmosférica nas estações de inverno e verão.

(a)



(b)

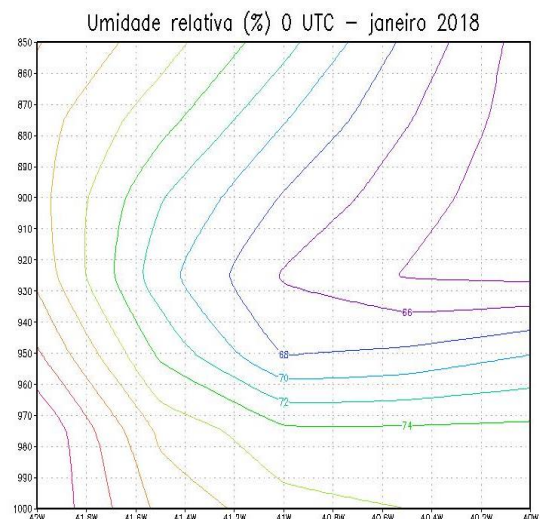
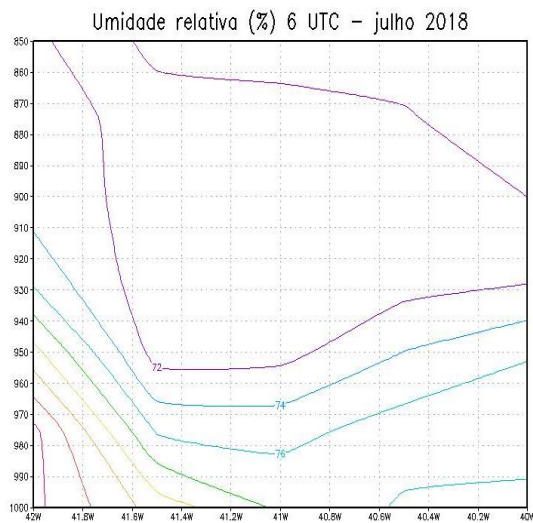


Figura 4.9: Umidade relativa às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

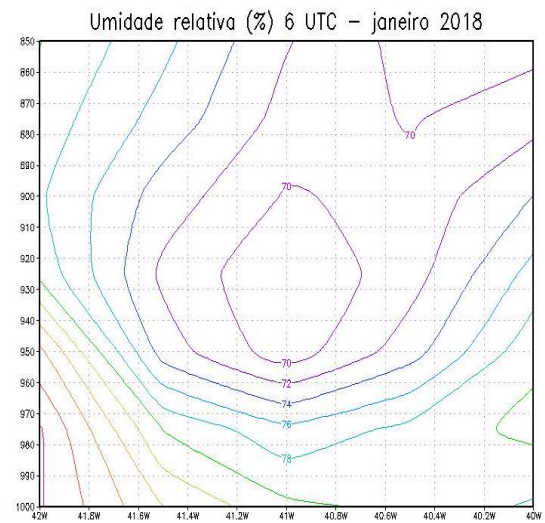
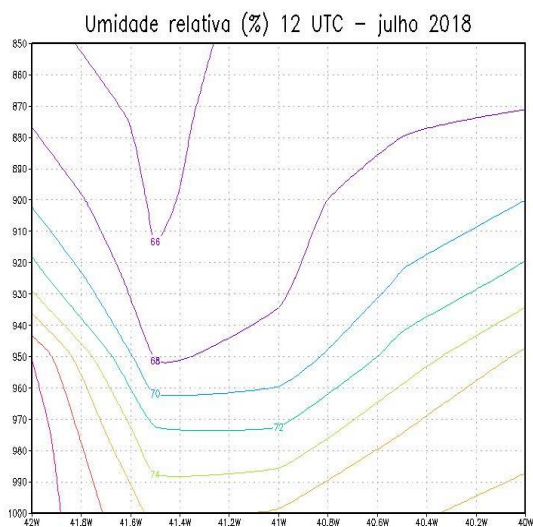


Figura 4.10: Umidade relativa às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

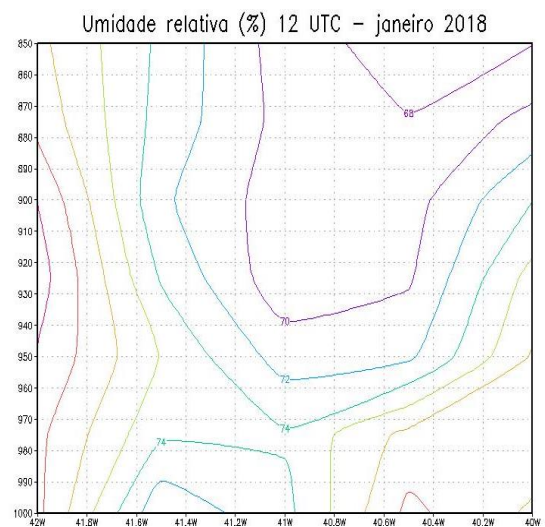
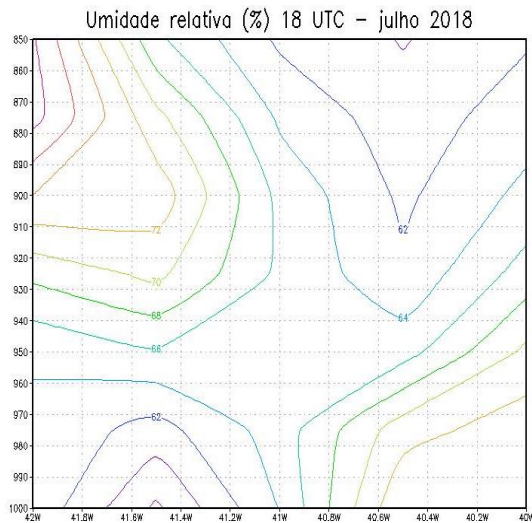


Figura 4.11: Umidade relativa às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

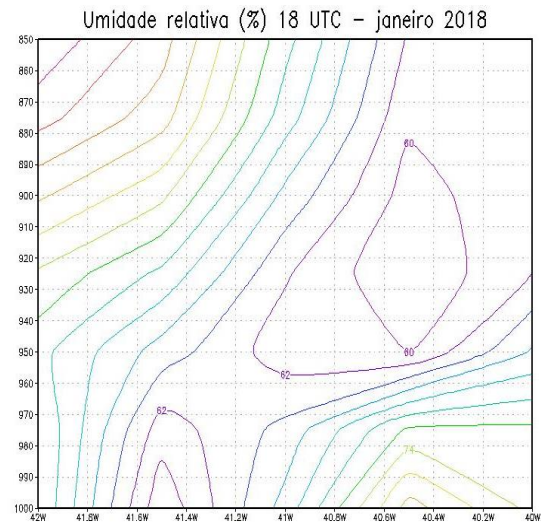


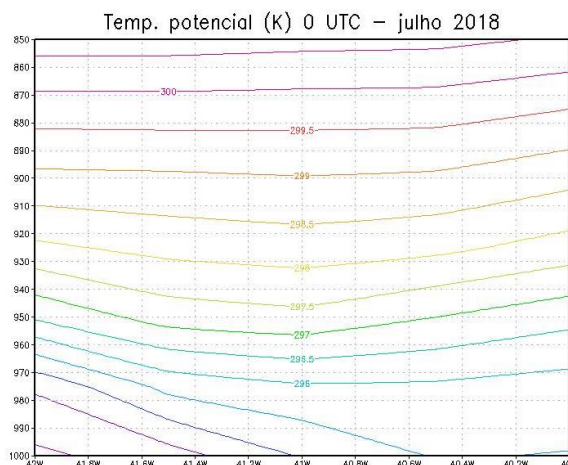
Figura 4.12: Umidade relativa às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Pelas figuras, podemos observar que a umidade relativa varia ao longo do dia. No período da madrugada há um resfriamento e de dia um aquecimento. Com isso, no horário das 3 horas figura 4.10 ela fica mais alta no continente e diminui bastante no litoral atingindo 70%, devido a temperatura e às 15 horas figura 4.12 essa diminuição se desloca para o oceano, aonde chega a apresentar valores de 60% de umidade. Onde este deslocamento pode ser causado pelo deslocamento do vento.

4.1.4. Perfis verticais da temperatura potencial

As figuras 4.13 a 4.16 referem-se à temperatura potencial na Camada Limite Atmosférica nas estações de inverno e verão.

(a)



(b)

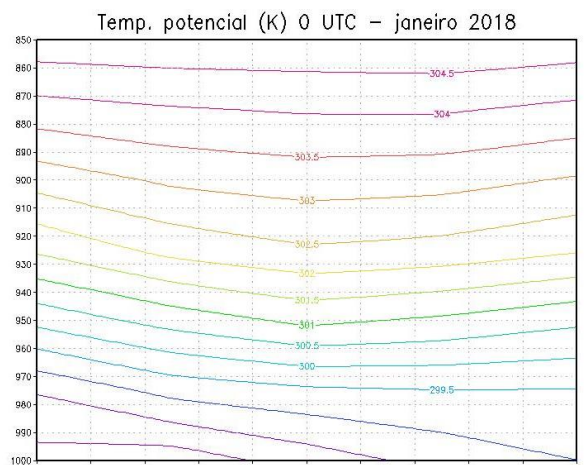
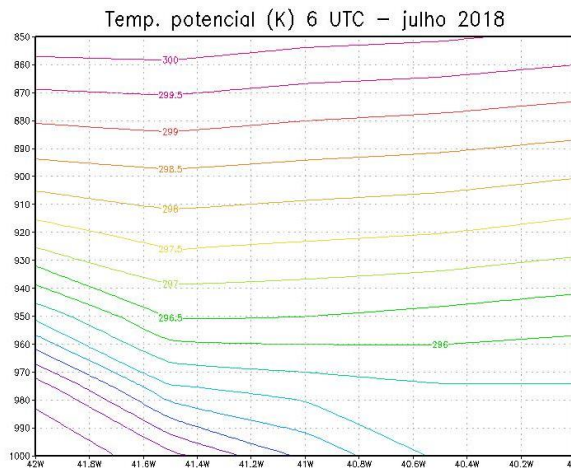


Figura 4.13: Temperatura potencial às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

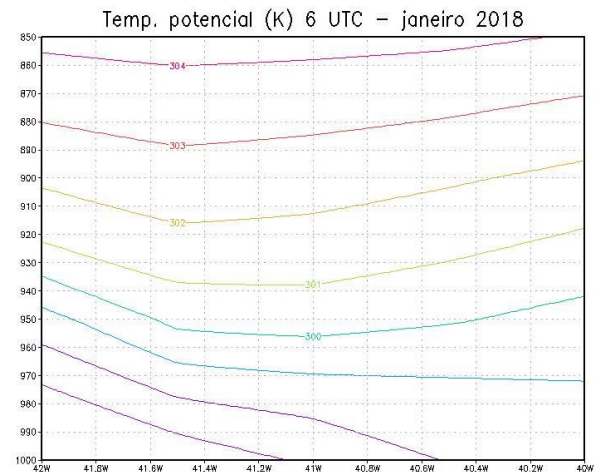
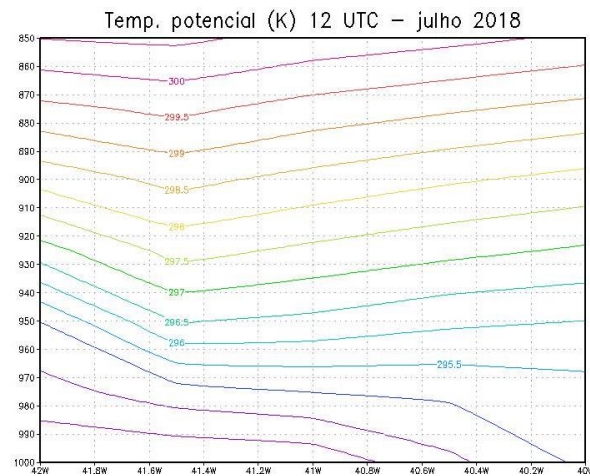


Figura 4.14: Temperatura potencial às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

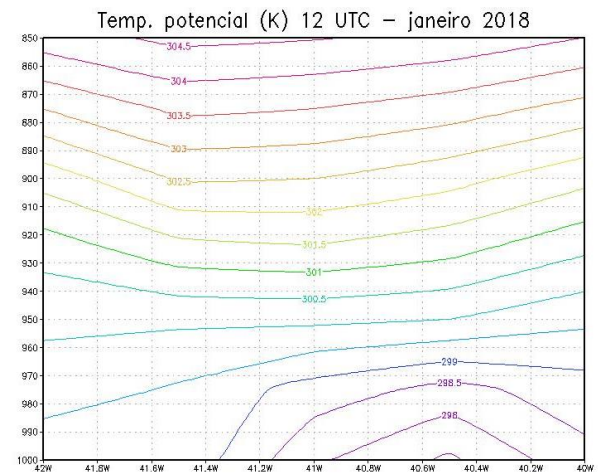


Figura 4.15: Temperatura potencial às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

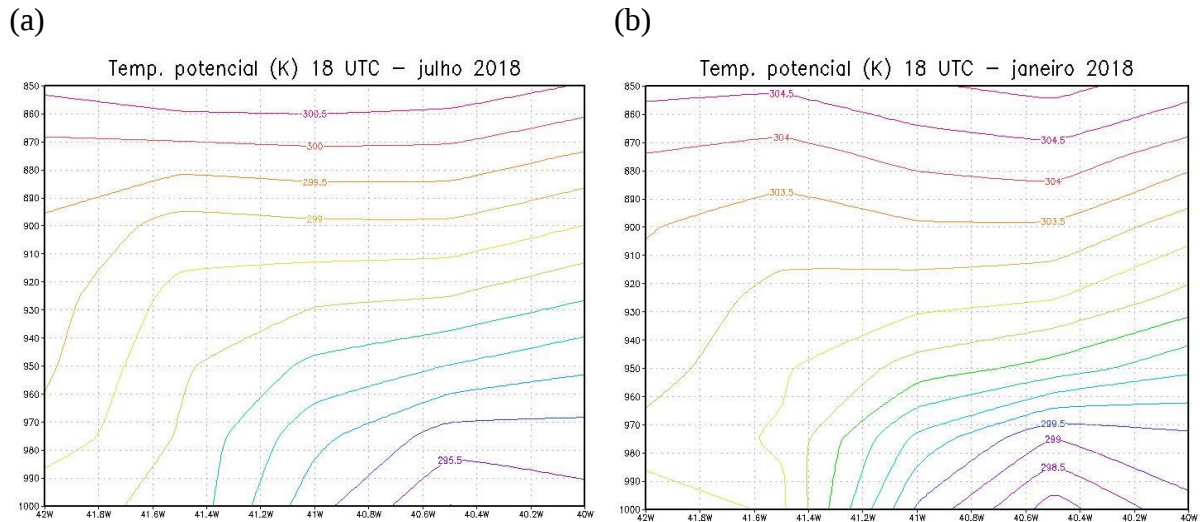


Figura 4.16: Temperatura potencial às 18 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

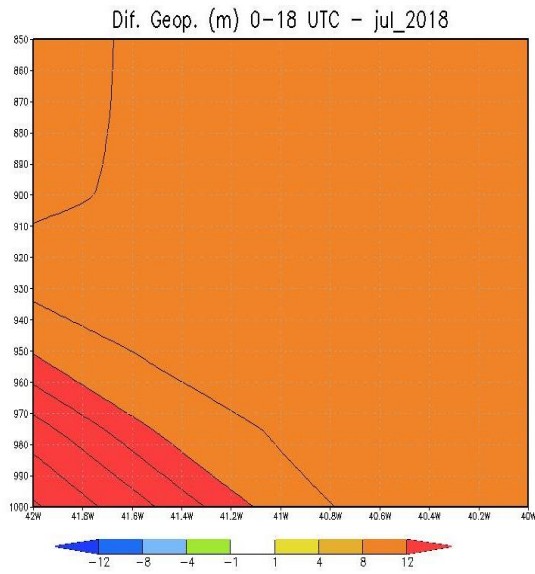
Nas figuras 4.13 a 4.16 é possível observar que a temperatura potencial aumenta com a altura ao longo da camada limite atmosférica, isto nos quatro horários sinóticos. Este aumento da temperatura potencial com a altura é uma característica comumente observada na troposfera dos trópicos, subtropicais e nas latitudes médias (HOLTON, 2004).

4.2. Perfis Verticais das Variáveis Dinâmicas

4.2.1. Perfis verticais das variações do geopotencial

As figuras 4.17 a 4.20 referem-se às variações da altura geopotencial na Camada Limite Atmosférica nas estações de inverno e verão.

(a)



(b)

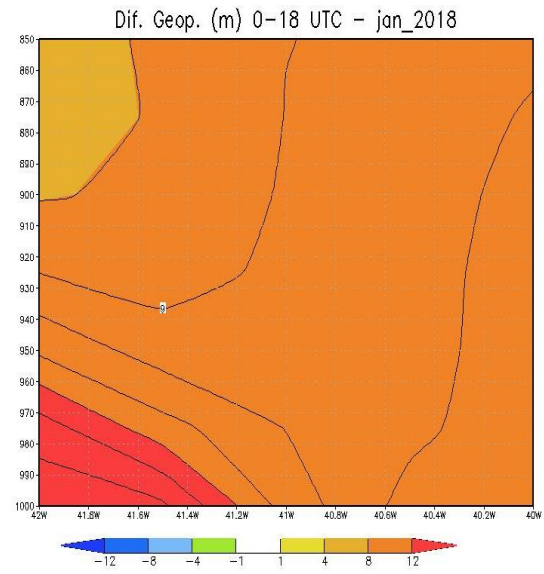
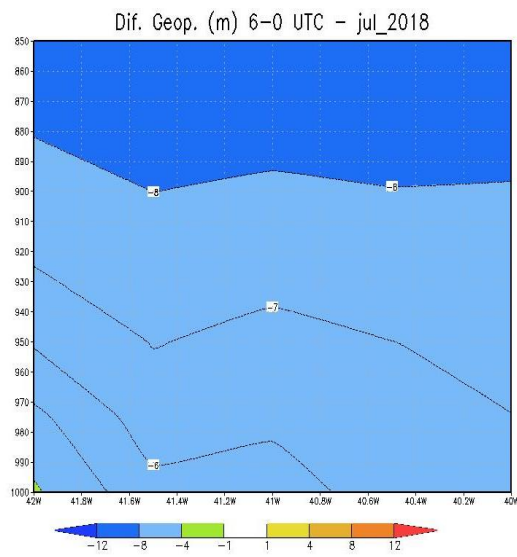


Figura 4.17: Variação geopotencial entre às 0 e 18 UTC (21 e 15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

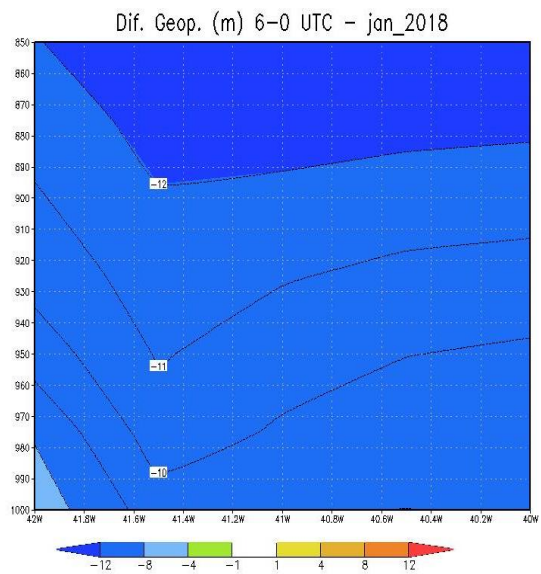
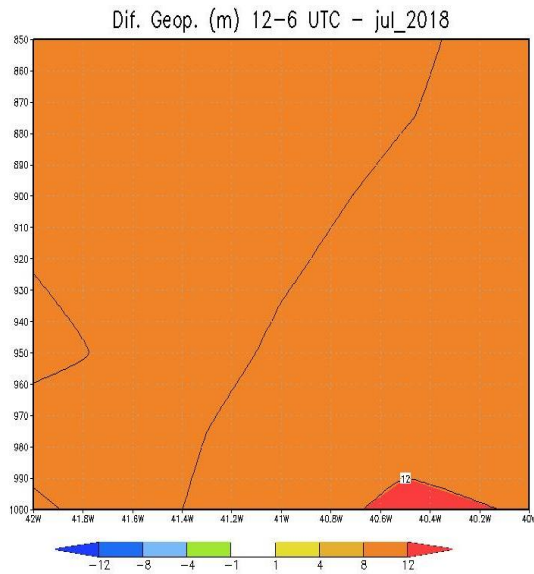


Figura 4.18: Variação geopotencial entre às 6 e 0 UTC (3 e 21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

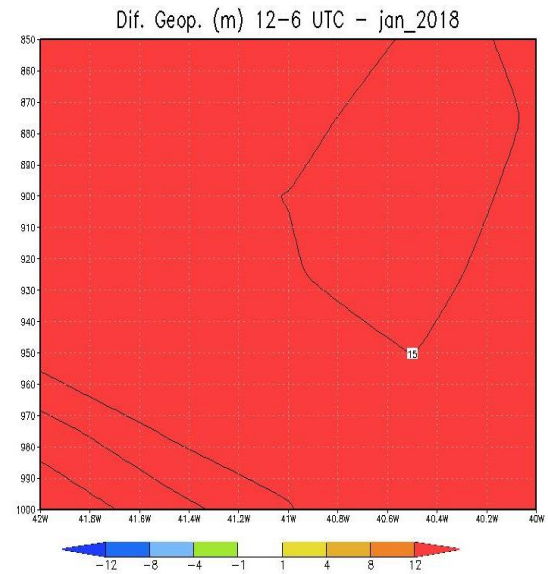
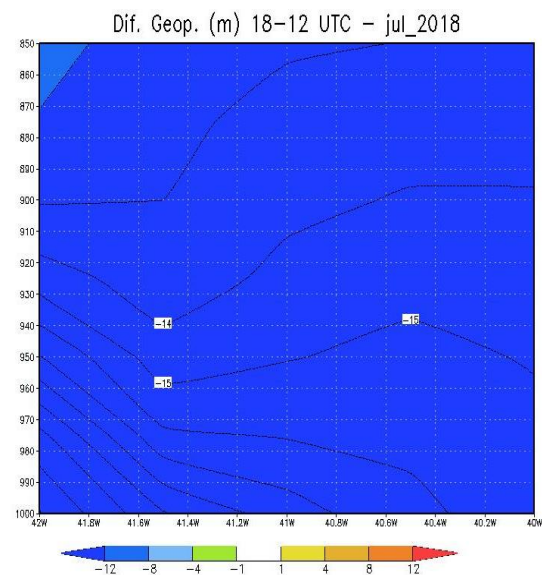


Figura 4.19: Variação geopotencial entre às 12 e 6 UTC (9 e 3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

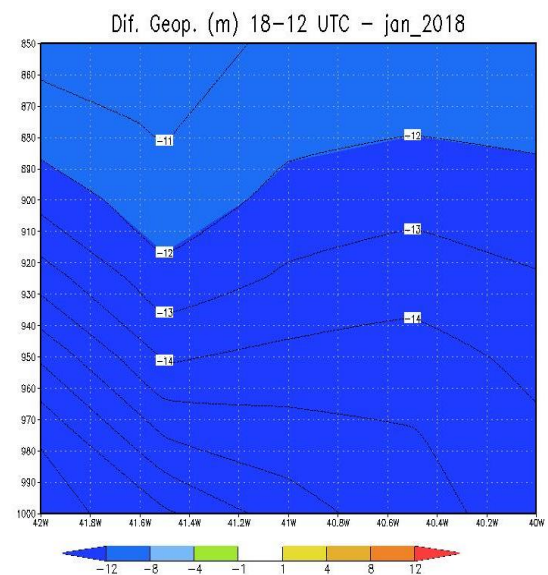


Figura 4.20: Variação geopotencial entre às 18 e 12 UTC (15 e 9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Pelos perfis, percebe-se que ao longo do dia, a pressão oscila no período de 24 horas. Os valores negativos de pressão representam os ciclos de mínimos (figuras 4.18 e 4.20) e os valores positivos os ciclos de máximos (figuras 4.17 e 4.19). Esses momentos de máximos e mínimos acontecem devido à maré barométrica.

4.2.2. Perfis da componente meridional do vento

As figuras 4.21 a 4.24 referem-se à componente meridional do vento na Camada Limite Atmosférica nas estações de inverno e verão.

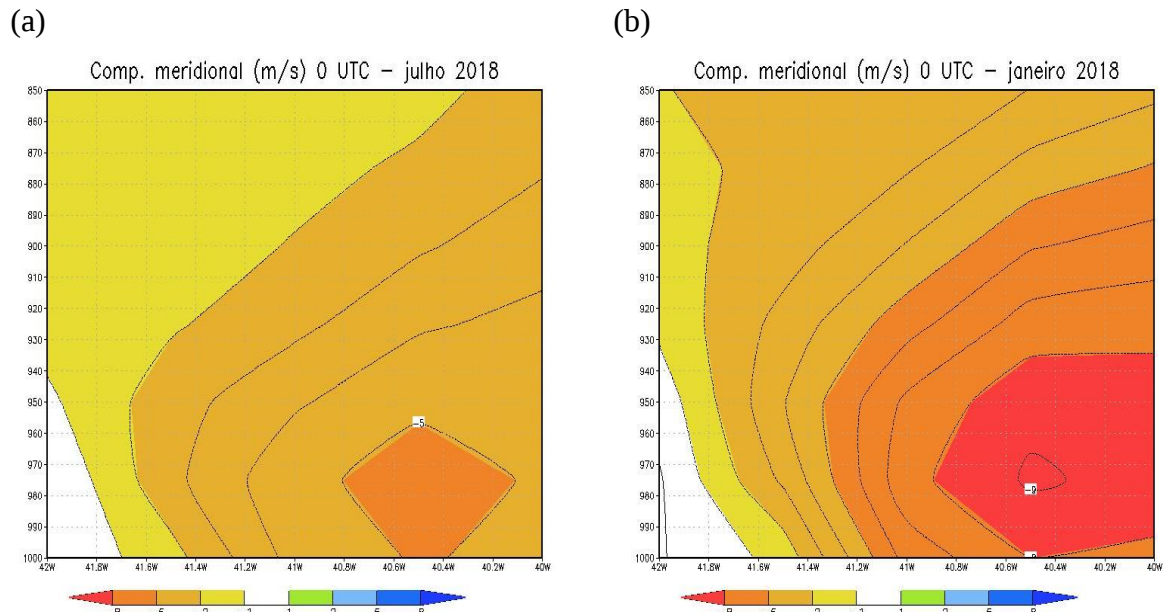


Figura 4.21: Componente meridional do vento às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

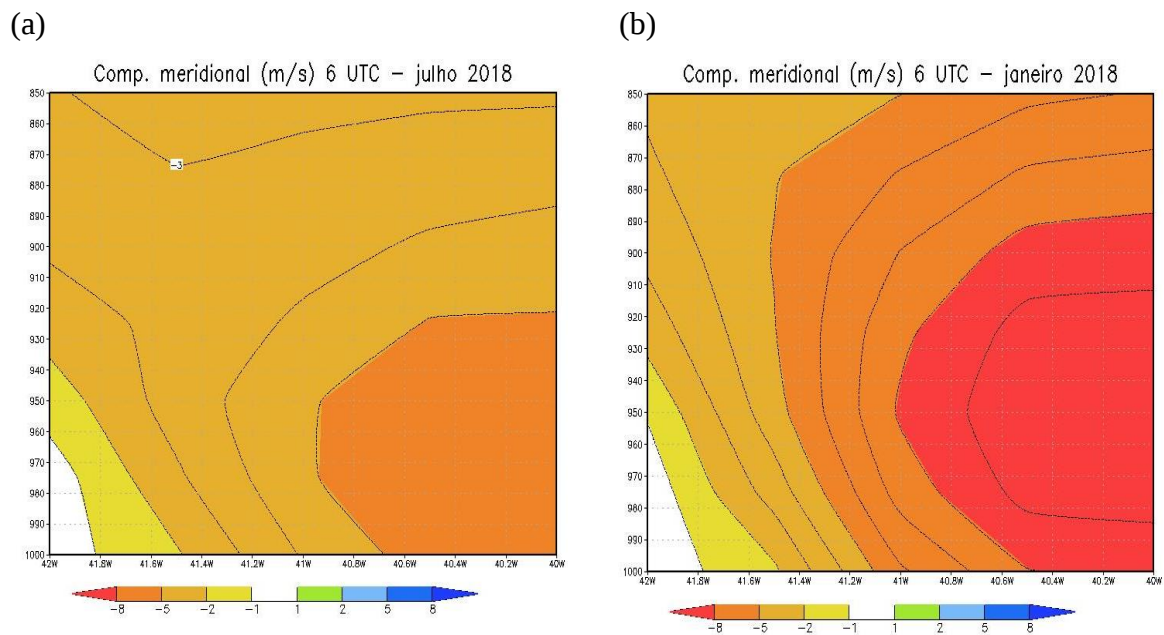


Figura 4.22: Componente meridional do vento às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão..

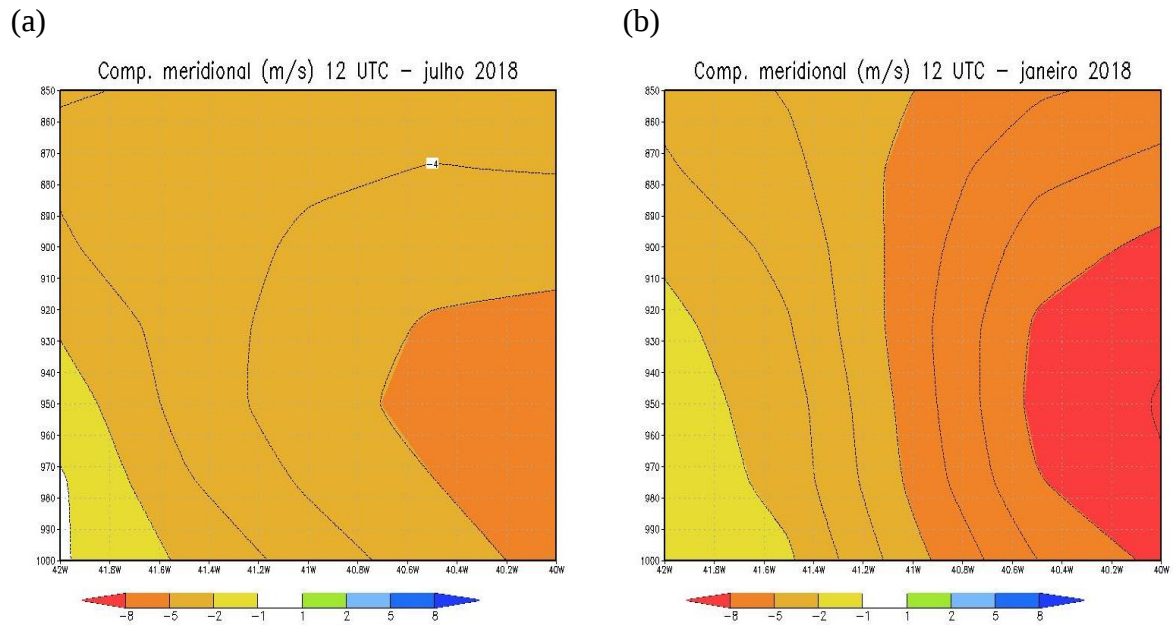


Figura 4.23: Componente meridional do vento às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

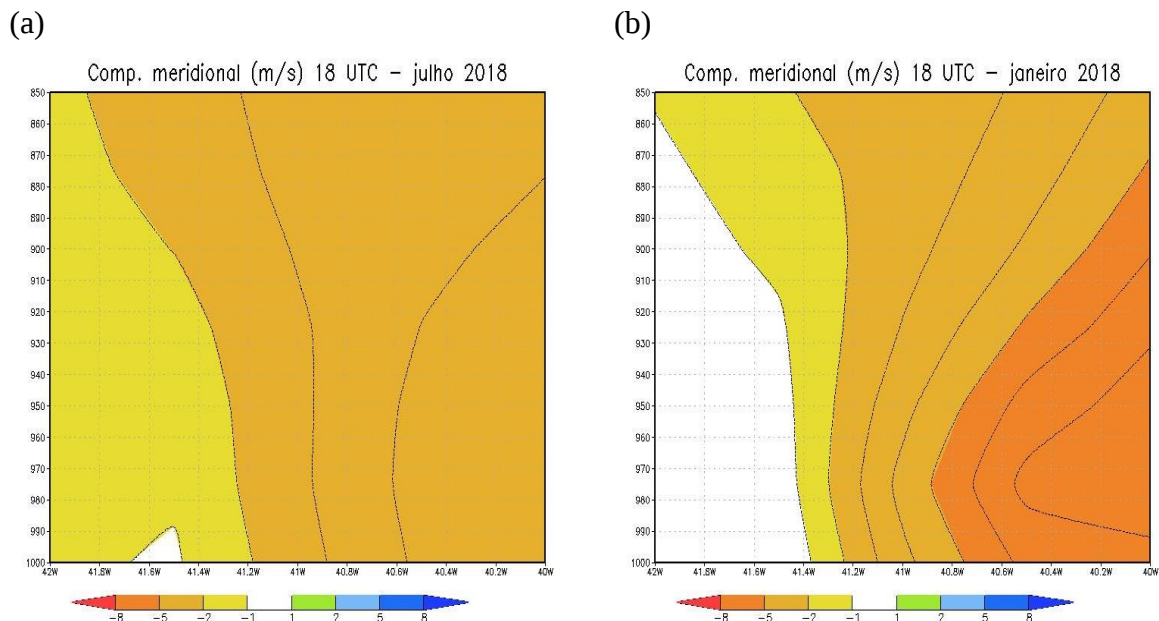


Figura 4.24: Componente meridional do vento às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Nas figuras 4.21 a 4.24, vê-se que nas duas estações do ano, verão e inverno, a componente meridional do vento (v) teve valores negativos, significando que os ventos predominantes são de norte, de nordeste ou de noroeste.

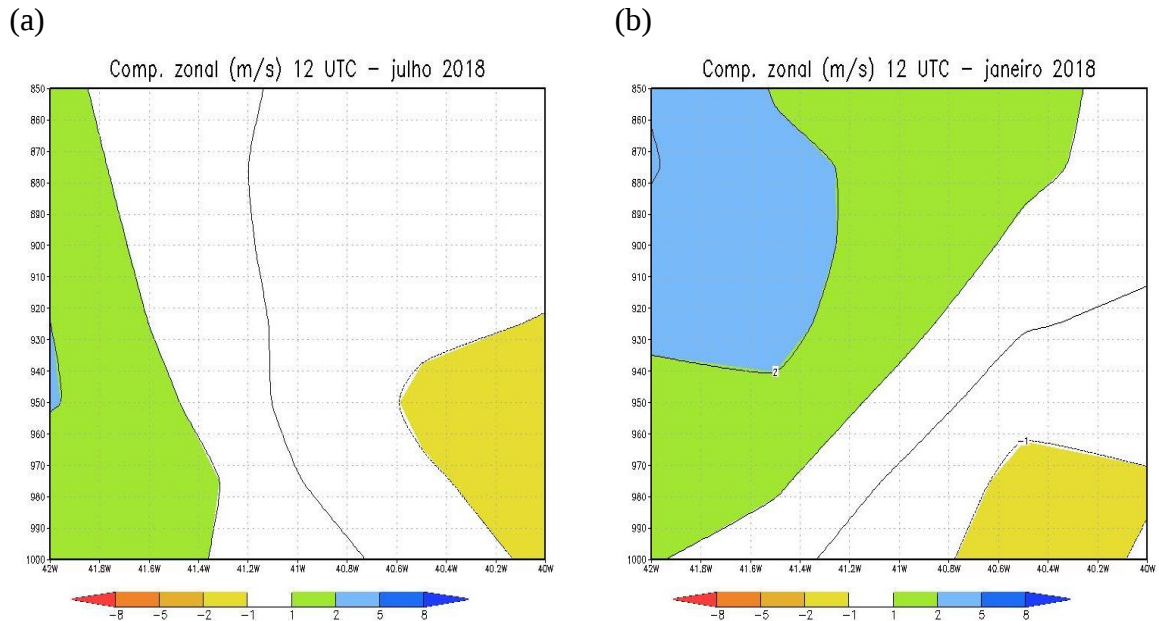


Figura 4.27: Componente zonal do vento às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

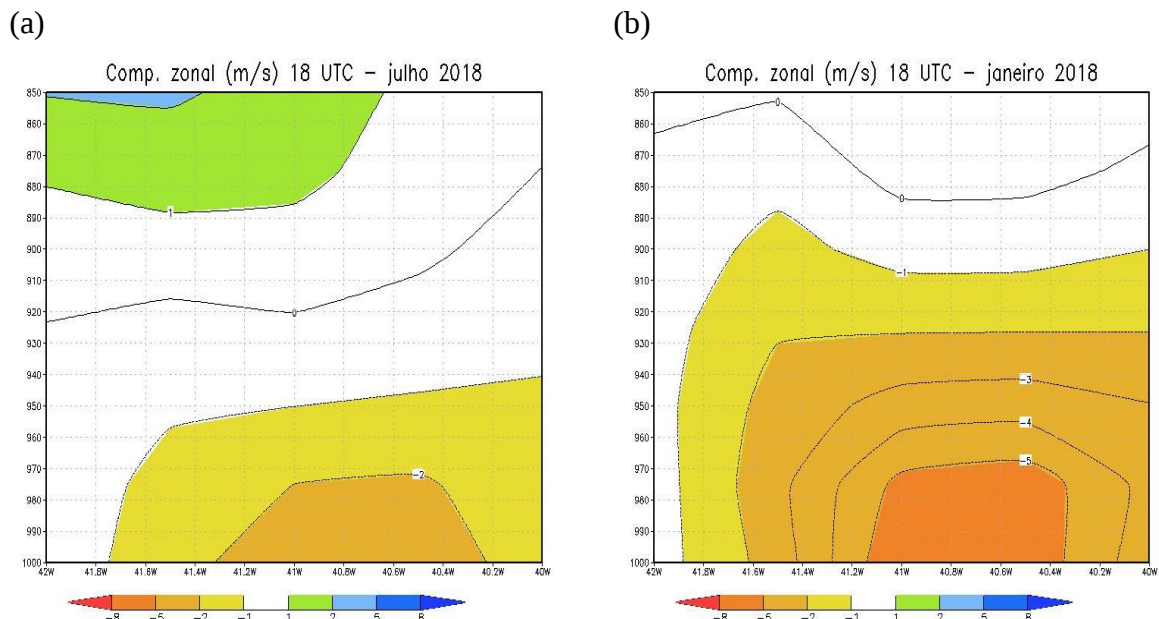


Figura 4.28: Componente zonal do vento às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Analisando o comportamento da componente zonal (u) nas figuras 4.25 a 4.28, temos que no período da noite no verão a direção predominante do vento é de leste, porém, na madrugada no continente começa uma mudança de direção para o oeste. No inverno, à noite no topo da CLA os ventos são de oeste devido à circulação geral e no meio da Camada Limite ocorre uma reversão na direção tendendo a leste. Já na madrugada e na parte da manhã há a ocorrência no litoral de ventos nas duas direções leste e oeste.

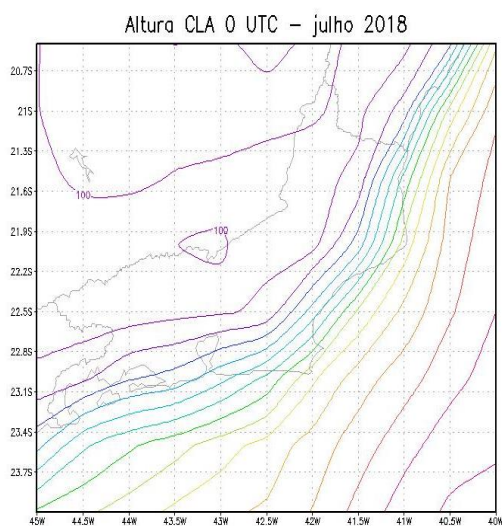
No horário das 15 horas (horas locais) ou 18 UTC no verão predomina ventos de oeste e leste na parte superior da CLA e no inverno ventos de oeste, devido à interferência da camada acima da camada limite atmosférica.

4.3. Mapas das Variáveis Meteorológicas na CLA

4.3.1. Altura da Camada Limite Atmosférica

As figuras 4.29 a 4.32 referem-se à altura na Camada Limite atmosférica nas estações de inverno e verão.

(a)



(b)

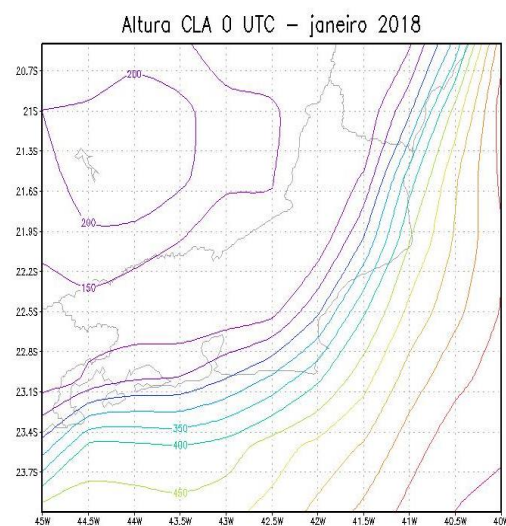
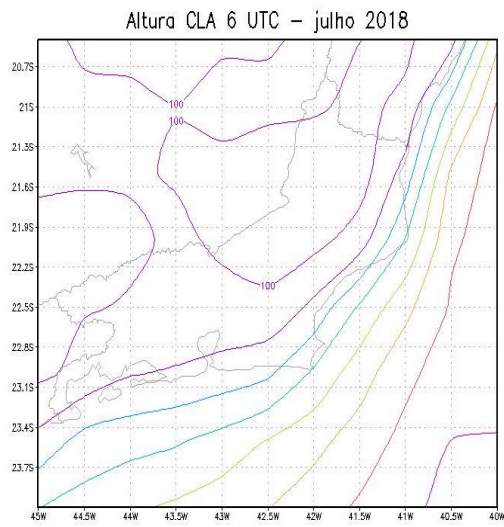


Figura 4.29: Altura da CLA às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

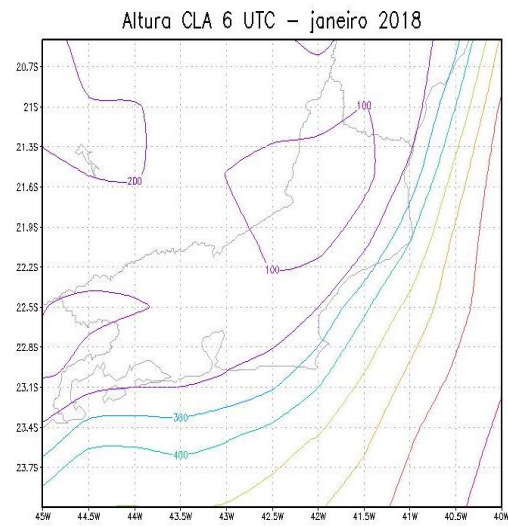
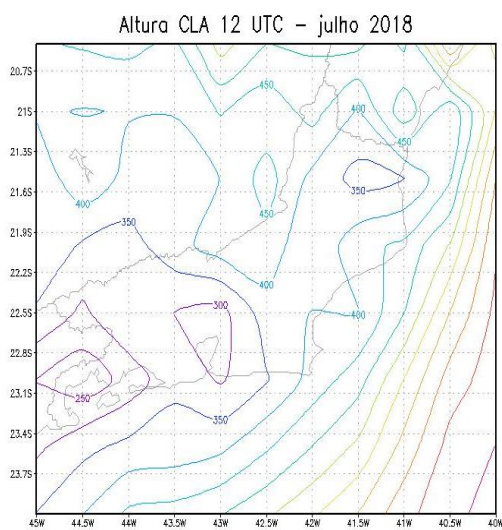


Figura 4.30: Altura da CLA às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

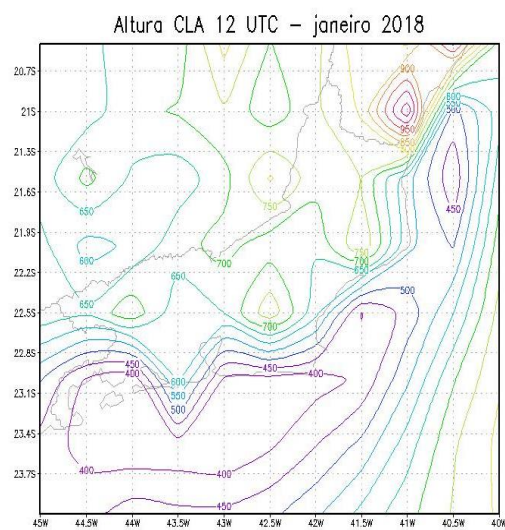
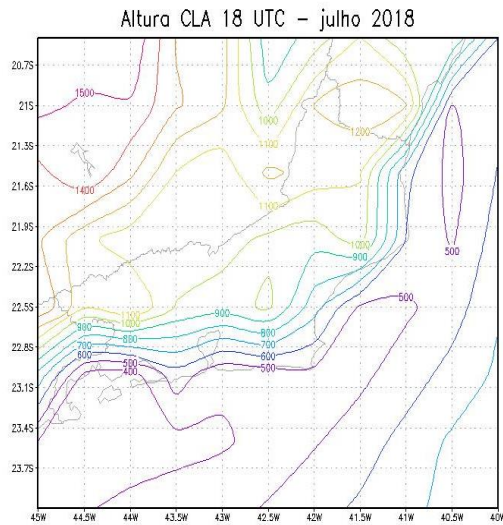


Figura 4.31: Altura da CLA às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

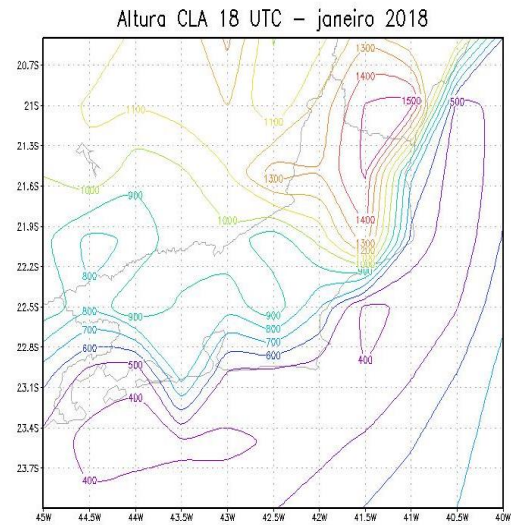


Figura 4.32: Altura da CLA às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

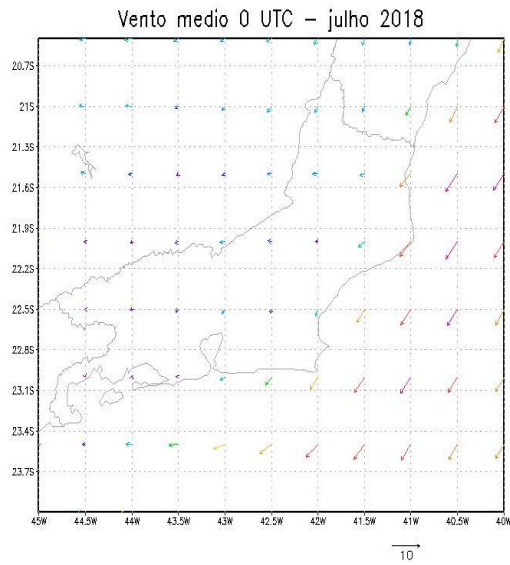
Observa-se que nas noites de verão, figuras 4.29(b) e 4.30(b), o comportamento da Camada Limite Atmosférica é semelhante às noites de inverno das figuras 4.29(a) e 4.30(a). Devido ao resfriamento no continente, a CLA encontra-se rebaixada em comparação com o oceano. Por outro lado, nas manhãs e tardes de verão a CLA continental fica bem mais elevada que a CLA oceânica.

Pelos mapas das figuras 4.29 e 4.30, é possível observar que a CLA em toda a área continental é muito baixa, não superando a altura de 300 m. Enquanto isso, toda a região oceânica tem camada limite mais elevada devido a maior capacidade calorífica dos oceanos. Já o continente tem grande perda radiativa durante as noites de inverno, fazendo com que a CLA fique mais baixa. No entanto, as figuras 4.31 e 4.32 apresentam um quadro bastante distinto, pois a radiação solar diurna aquece o continente mais que o mar e assim a CLA continental fica mais elevada.

4.3.2. Mapas dos Ventos Superficiais

As figuras 4.33 a 4.36 a seguir referem-se aos ventos a 10 m da superfície, na parte inferior da camada limite atmosférica nas estações de inverno e verão.

(a)



(b)

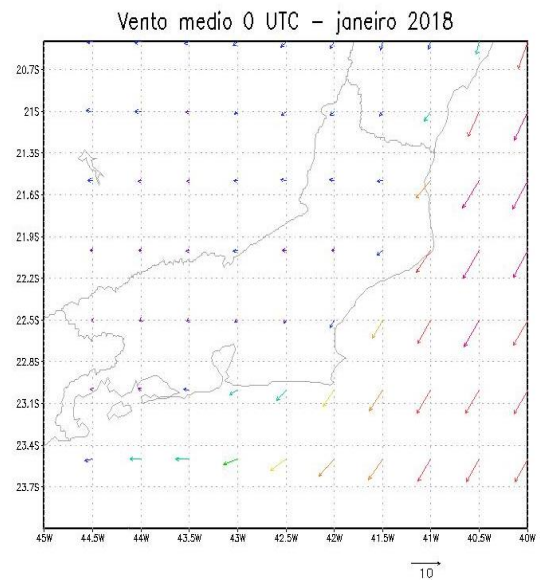
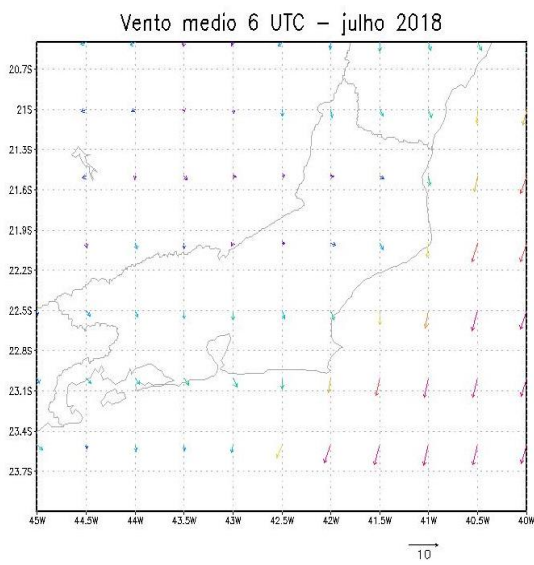


Figura 4.33: Ventos às 0 UTC (21 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

(a)



(b)

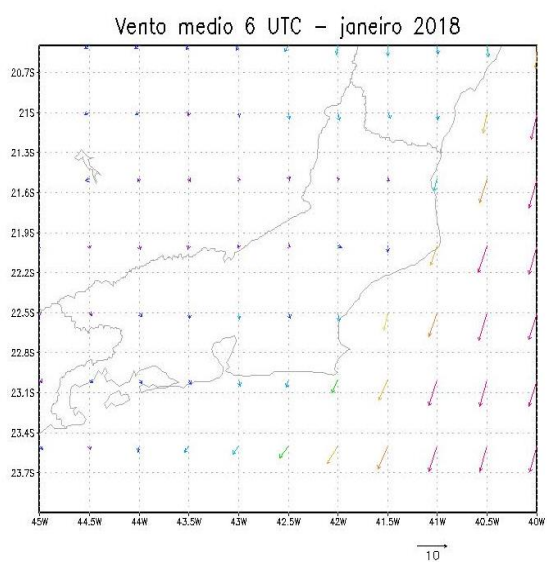


Figura 4.34: Ventos às 6 UTC (3 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

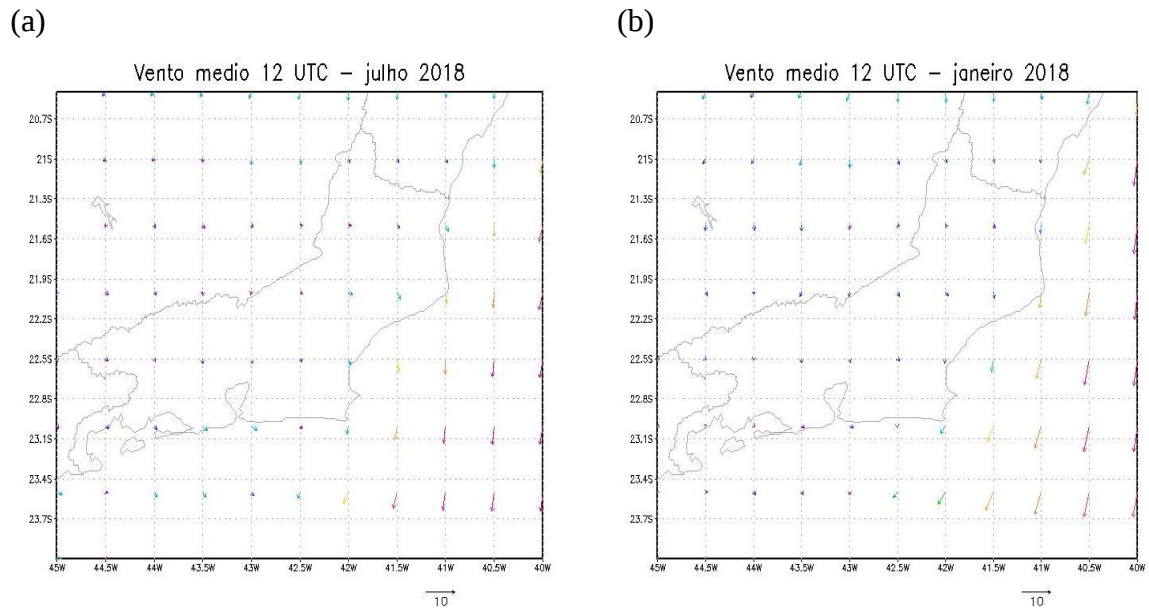


Figura 4.35: Ventos às 12 UTC (9 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

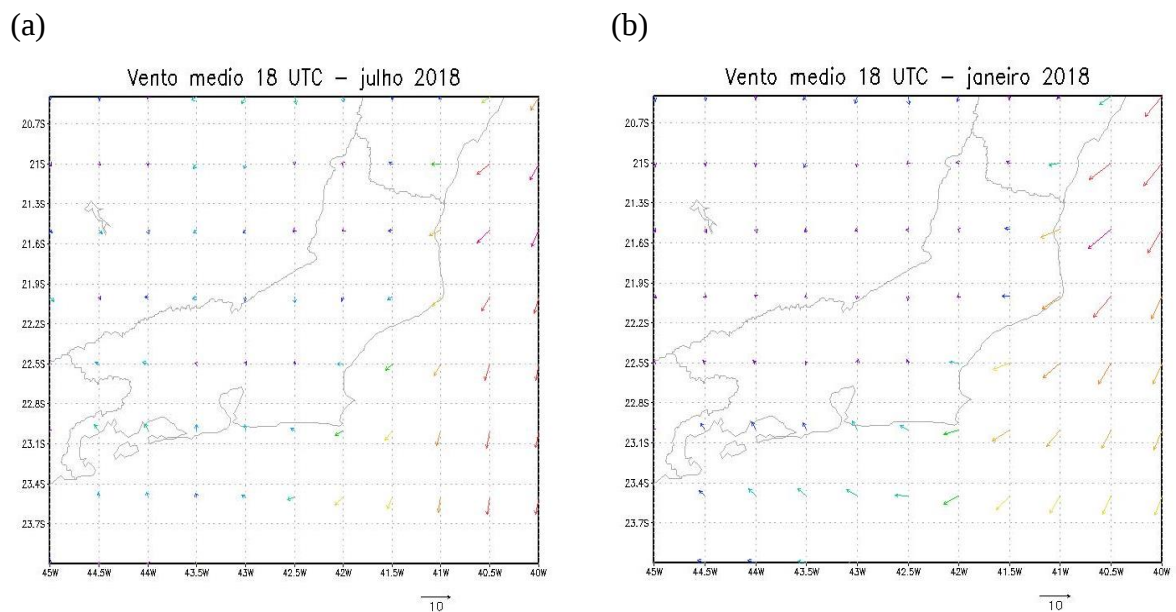


Figura 4.36: Ventos às 18 UTC (15 horas locais): (a) Inverno; (b) Verão.

Os mapas referentes às figuras 4.33 a 4.36 mostram que tanto no verão quanto no inverno, no oceano não há muita variação da intensidade do vento e que no inverno na área continental os ventos são mais fortes que no verão. Estes ventos são de superfície e há predominância na direção noroeste.

4.4. Análise das Rosas dos Ventos

As figuras representam os dados do vento a 975 hPa da reanálise CFSR, nos pontos A, B e C, para o verão e inverno, utilizando dados diários do vento nos períodos de junho, julho e agosto de 2018 e de dezembro de 2017, janeiro e fevereiro de 2018.

A figura 4.37, mostra a rosa dos ventos com as direções predominantes no verão de 2018 no continente.

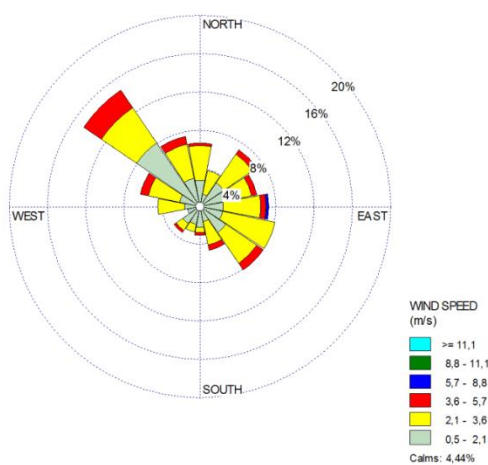


Figura 4.37: Rosa dos ventos no ponto A (22S, 42W), no continente.

No continente, observou-se que o vento predominante ocorreu na direção Noroeste.

A figura 4.38, mostra a rosa dos ventos com as direções predominantes no verão de 2018 no litoral.

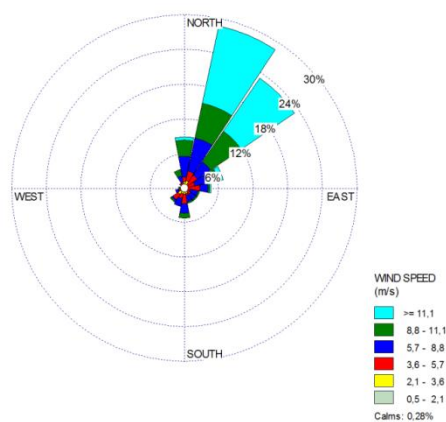


Figura 4.38: Rosa dos ventos no ponto B (22S, 41W), no litoral.

No litoral, notou-se que o vento predominante foi o de Nordeste.

A figura 4.39, mostra a rosa dos ventos com as direções predominantes no verão de 2018 no oceano.

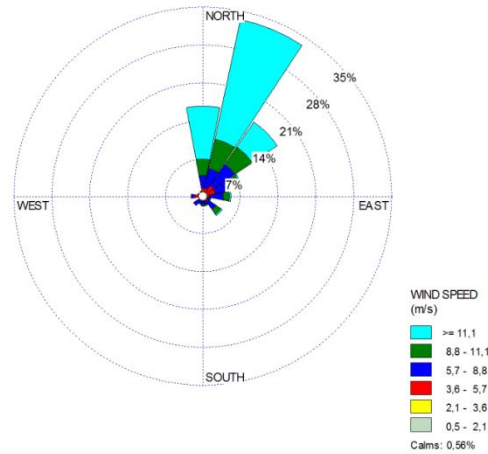


Figura 4.39: Rosa dos ventos no ponto C (22S, 40W), no oceano.

Assim como no litoral, no oceano, o vento predominante foi de Nordeste.

A figura 4.40, mostra a rosa dos ventos com as direções predominantes no inverno de 2018 no continente.

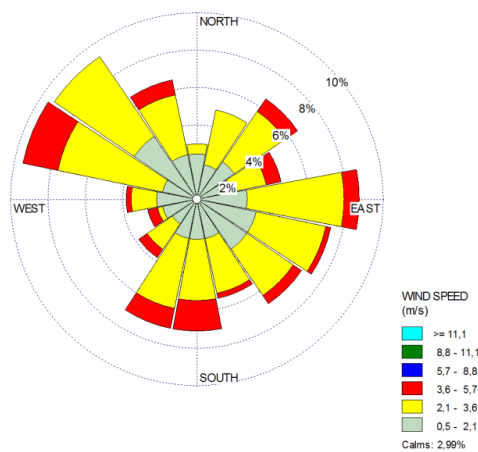


Figura 4.40: Rosa dos ventos no ponto A (22S, 42W), no continente.

No continente, a direção do vento se intensificou nas direções Noroeste e Sudeste.

A figura 4.41, mostra a rosa dos ventos com as direções predominantes no inverno de 2018 no litoral.

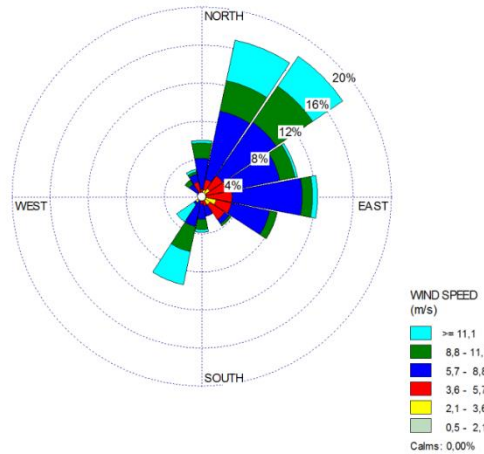


Figura 4.41: Rosa dos ventos no ponto B (22S, 41W), no litoral.

No litoral, houve predominância de ventos a Nordeste.

A figura 4.42, mostra a rosa dos ventos com as direções predominantes no inverno de 2018 no oceano.

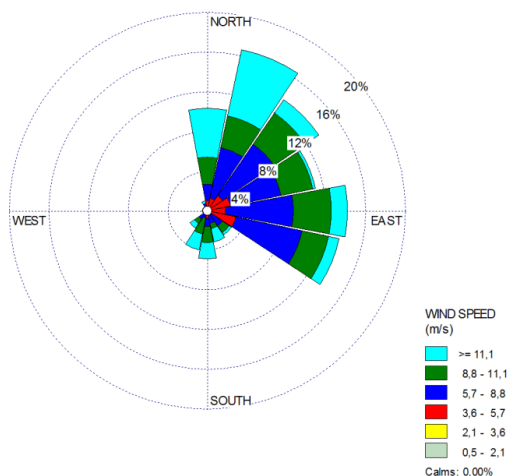


Figura 4.42: Rosa dos ventos para o inverno no ponto C (22S, 40W), no oceano.

No oceano, os valores das velocidades do vento predominaram na direção Nordeste.

A seguir a tabela 4.1 apresenta a distribuição das frequências da intensidade do vento como observado nas rosas dos ventos acima, separadas por classes de intensidade.

Tabela 4.1: Distribuição das frequências da velocidade dos ventos à 10m da superfície por classes de intensidade.

Localização	Calmo	0,5 a 2,1	2,1 a 3,6	3,6 a 3,7	5,7 a 8,8	8,8 a 11,1	$\geq 11,1$
Ponto A - Verão	4,4	43,1	44,4	7,8	0,3	0	0
Ponto A - Inverno	3,0	38,6	48,1	10,3	0	0	0
Ponto B - Verão	0,3	3,3	7,5	17,2	25,3	20,0	26,4
Ponto B - Inverno	0	3,0	5,2	15,5	42,9	17,9	15,5
Ponto C - Verão	0,6	1,9	6,1	11,9	22,8	18,1	38,6
Ponto C - Inverno	0	0,3	2,7	12,0	37,5	25,3	22,3

Os valores representados na tabela 4.1 mostram que o continente é inapropriado para o aproveitamento eólico, primeiro porque ocorre uma concentração de frequências elevadas para velocidades mais baixas, inferiores a 3,6 m/s. Além disso, estas frequências estão associadas a um leque de direções do vento muito amplo, abrangendo praticamente todas as direções, como foi visto nas figuras 4.37 e 4.40.

Para o ponto B, situado no litoral, a tabela 4.1 demonstra que as frequências mais elevadas correspondem às maiores intensidades do vento. Pelas figuras 4.38 e 4.41 as direções do vento na localidade próxima ao Farol de São Tomé estão concentradas em torno da direção nordeste. Esta combinação mostra o quanto esta localidade é propícia ao aproveitamento eólico.

Finalmente, os valores apresentados na tabela 4.1 mostram que no oceano, tanto no verão quanto no inverno, os ventos mais intensos possuem alta frequência de ocorrência. Pelas figuras 4.39 e 4.42 as direções do vento nesta localidade oceânica também estão concentradas em torno da direção nordeste. Como esperado, esta combinação também aponta que o oceano Atlântico nesta latitude subtropical e não muito distante da costa brasileira mostra-se também favorável à geração de energia eólica.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisado o comportamento da Camada Limite Atmosférica (CLA) na região Litorânea no Norte Fluminense, considerando para esta análise algumas variáveis meteorológicas como a temperatura, a umidade, a pressão, o vento e a altura da CLA, tanto no continente quanto no oceano em duas estações do ano, inverno e verão.

Analisando a temperatura, foi possível mostrar que a mesma varia ao longo do dia diferentemente no continente e no oceano. Durante a noite a temperatura cai, ficando entre 20°C a 23°C no continente devido à perda de radiação, voltando a aumentar depois do amanhecer por causa da radiação solar incidente na superfície terrestre. No oceano não se observa esta variação no ciclo diurno da temperatura, devido à maior capacidade calorífica da água. Durante o verão próximo a 850 hPa a temperatura fica em torno de 18°C e no inverno em torno de 14°C.

A umidade específica, ou seja, o teor de vapor d'água no ar é menor na parte superior da CLA do que na parte inferior devido à evaporação que ocorre na superfície. Já a umidade relativa varia muito no decorrer do dia, sendo que na madrugada ela aumenta no continente e diminui no litoral, atingindo valores próximos a 70%. No período da tarde, sobre o oceano a umidade relativa apresenta valores próximos a 60%. Isto ocorre em resposta às variações da temperatura superficial.

A temperatura potencial aumenta com a altura, alcançando nos níveis mais elevados da CLA cerca de 300 K no inverno e superando os 304 K no verão, isto nos quatro horários sinóticos e tanto no continente quanto no oceano. Este fato reflete o comportamento termodinâmico adiabático seco, observado tanto na troposfera tropical quanto subtropical e de latitudes médias (HOLTON, 2004).

Ao longo do dia, a pressão oscila duas vezes, atingindo dois máximos e dois mínimos devido à maré barométrica. Os valores negativos presentes nos perfis das variações temporais do geopotencial apresentam dois mínimos e dois máximos identificados nos perfis verticais.

Quanto à altura da CLA, a mesma se eleva ao longo do dia sobre o continente devido ao aquecimento solar. Este efeito de levantamento da CLA se mostra mais forte no verão comparativamente ao inverno, e à tarde em comparação com a madrugada. À noite, devido ao resfriamento radiativo continental, a altura da CLA diminui, atingindo alturas entre 100m a 200m principalmente no inverno. Sobre o oceano estas variações na altura da CLA são menos perceptíveis, pois as variações da temperatura superficial são pequenas.

No Litoral Norte Fluminense e no oceano, as direções predominantes do vento têm componente meridional negativa, isto é, sopram quase sempre de norte, de nordeste ou de noroeste. Este comportamento do vento é observado nas duas estações do ano. Este comportamento está associado à predominância dos ventos alísios que caracterizam a região estudada. No setor continental ocorrem mais variações na direção, pois o vento é bastante afetado tanto pela topografia quando pelas variações na cobertura vegetal e na presença hídrica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, O. C. **Monitoring the micrometeorology of a coastal site next to a termal power plant from the surfaceto 140m.** American Meteorological Society. 2018. p.725-737

AHRENS, A. D. **Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere.** Tradução: Maria Gertrudes A. J. da Silva. New York: West Publishing Company. 1993. Cap. 7. p.157-185.

AHRENS, A. D. **Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere.** Tradução: Maria Gertrudes A. J. da Silva. New York: West Publishing Company. 1993. Cap. 1. p. 1-22.

BARRY, R. G.; R. J. Chorley. **Atmosfera, Tempo e Clima.** 12. ed. Tradução: Ronaldo C. Costa. Bookman Editora Ltda. 2013.512p.

BERNARDES. Mateus. **Conceitos de Estabilidade Atmosférica e Dispersão Atmosférica.** Lemma, Paraná, 2004.

CHAVES, R. R.; Rodriguez D. A. **Apostila de GrADS.** INPE, 2001. 22 p.

SILVA, F.P. **Caracterização da Camada Limite Atmosférica em Fortaleza- CE.** 2017. 77 f. Tese (mestrado em Meteorologia) – Universidade de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

GUERRA, Thiago. **Estudo sobre a turbulência na camada limite planetária.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Física, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamics meteorology.** 4.ed. Washington: Elsevier. 2004. 531p.

SILVA, F. **Caracterização da camada limite atmosférica em Fortaleza - CE.** 2017. 83 f. Tese (Mestrado em Meteorologia) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SOUZA, E. B. **GrADS – Grid Analysis and Display System - Fundamentos e Programação Básica.** Universidade Federal do Pará, 2004. 55 p.

Stüker, Eduardo. **Utilização de dados de reanálise na estimativa do potencial eólico bruto no estado do Rio Grande do Sul. 2014.** Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade do Pampa, Alegrete, 2014

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology.** Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Press, 1988. 670p.

YNOUE, Rita Yuri et al. **Meteorologia: noções básicas.** São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2017. 179 p.