



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA**

**VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA LAGOA
MANGUEIRA NAS PASSAGENS DE SISTEMAS FRONTAIS, A PARTIR DE
DADOS DE RADIÂNCIA DO SENSOR MODIS**

Marilei Bender Xavier

Tese De Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos
professores Sílvia Beatriz Alves Rolim e Gervásio Annes Degrazia.

**UFRGS
Porto Alegre
2014**

MARILEI BENDER XAVIER

**VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NA LAGOA
MANGUEIRA NAS PASSAGENS DE SISTEMAS FRONTAIS, A PARTIR DE
DADOS DE RADIÂNCIA DO SENSOR MODIS**

Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto
Para obtenção do título de Doutora em
Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento
Remoto e Meteorologia

Orientação: Sívia Beatriz Alves Rolim
Gervásio Annes Degrazia

Porto Alegre
2014

**Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do
Título de Doutora em Sensoriamento Remoto.**

Dr^a. Silvania Maria Netto (UNIP)

Dr. Waterloo Pereira (UFSM)

Dr. Fernando Hepp Pulgati (UFRGS)

Dr. Gervásio Annes Degrazia (UFSM/UFRGS)
Coorientador

Dr^a. Sílvia Beatriz Alves Rolim (UFRGS)
Orientadora

Aluna: Marilei Bender Xavier

Porto Alegre, de Janeiro de 2014.

Às minhas filhas Touanda Beal e Paloma Beal, dedico.

AGRADECIMENTOS

- À minha orientadora e amiga Sílvia Beatriz Alves Rolim pelo incentivo e apoio, pela confiança, por me guiar no caminho da pesquisa, pelos momentos bons e ruins que contribuíram para meu crescimento profissional e pelo carinho que sempre me acolheu nas dificuldades.
- Ao meu coorientador Gervásio Annes Degrazia pelo apoio, dedicação e disponibilidade em me ajudar neste estudo. Sua participação foi fundamental para conclusão deste trabalho.
- Ao prof. Waterloo Pereiro Filho pela disponibilidade e incentivo na saída de campo.
- À todos meus professores do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da UFRGS.
- Ao meu colega Matheus Ferreira (INPE) por me ajudar no uso do programa de georreferenciamento para imagens MODIS da NASA.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro da bolsa de estudo.
- Às minhas filhas Touanda Beal e Paloma Beal, pelo amor e compreensão em minha ausência.

RESUMO

Dados de sensoriamento remoto constituem uma importante fonte de obtenção da temperatura de superfície em sistemas aquáticos, uma vez que são capazes de cobrir áreas nem sempre abrangidas por estações convencionais de coleta de dados meteorológicos. Os métodos derivados e os modelos teóricos destinados à análise e caracterização de padrões de comportamento da dinâmica de corpos d'água necessitam informações de fenômenos relacionados à temperatura de superfície. Esta medida é uma das principais variáveis para o entendimento de fenômenos ambientais. Os ecossistemas aquáticos possuem uma dinâmica própria com diferentes características que sofrem variações com a passagem de sistemas frontais, que por sua vez, são influenciados pela temperatura do ar, vento e outras grandezas meteorológicas. Neste sentido, estudos da temperatura de superfície em meio aquático relacionados aos fatores climáticos são de grande contribuição para diversos estudos, bem como no controle ambiental de águas superficiais. Como alternativa às abordagens convencionais de investigação existentes, este trabalho apresenta um método para estimativas de temperaturas superficiais utilizando imagens orbitais integradas com dados meteorológicos. A resposta da temperatura de superfície associada à passagem de sistemas frontais foi calculada a partir do produto MOD11-Temperatura de Superfície e Emissividade, do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), a bordo da plataforma orbital EOS-TERRA. A área de estudo é a Lagoa Mangueira, localizada na porção meridional do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Além do difícil acesso, esta lagoa apresenta um tempo meteorológico com grandes variações em escalas de tempo relativamente curtas, dificultando previsões do tempo local. As imagens MODIS foram associadas às datas das passagens dos sistemas frontais (SF) de dezembro de 2005 e dos meses de inverno 2005/2006. A temperatura de superfície apresentou maior variação nas presenças de ventos fortes e temperaturas ambientes altas para os períodos estudados. Na região norte da lagoa, a temperatura de superfície é mais elevada em relação ao sul e centro. Este aumento é relacionado à entrada de nutrientes oriundos do banhado da Reserva do Taim. A presente análise mostra que as medidas de temperatura superficial em lagoas, obtidas pelo sensor MODIS, constitui uma ferramenta viável e eficiente relacionadas com o campo de vento originado durante a passagem de sistemas frontais.

ABSTRACT

Remotely sensed data are an important source for obtaining the surface temperature in aquatic systems since they are able to cover areas not always covered by conventional stations collecting meteorological data. The derived methods and theoretical models for analysis and characterization of patterns of behavior of the dynamics of water bodies need phenomena information related to surface temperatures. This measure is one of the main variables for understanding environmental phenomena. The aquatic ecosystems have their own characteristics with different dynamic levels that change with the passage of frontal systems, which in turn are influenced by air temperature, wind and other meteorological quantities. In this sense, studies of surface temperature in the aquatic environment related to climatic factors are contributing to various studies as well as environmental control of surface waters. As an alternative to conventional research approaches, this paper presents a method for estimating surface temperatures using satellite images integrated with micrometeorological data. The temperature response of the surface associated to the passage of frontal systems was calculated from the product MOD11 - Surface Temperature and Emissivity, sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) aboard the EOS -TERRA orbital platform. The study area is the Mangueira Lagoon, located on the southern portion of the state of Rio Grande do Sul (RS). In addition to the difficult access, it presents a meteorological time with large variations on relatively short time scales, hindering local weather forecasts. The MODIS images were associated with dates of passages of frontal systems (SF) december 2005 and the winter months 2005/2006. The surface temperature varied more in the presence of strong winds and high ambient temperatures for the periods studied. In the north of the pond, the surface temperature is higher compared to the south and center. This increase is related to the input of nutrients from the plated Reserve of Taim waters. This analysis shows that measures of surface temperature in ponds, obtained by MODIS, are a viable and efficient tool to establish relations with the wind field originated during the passage of frontal systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo, Lagoa Mangueira, RS, Brasil.....	16
Figura 2 - Espectro eletromagnético.....	18
Figura 3 - Emitância espectral de corpo negro para quatro temperaturas, em escala linear.....	19
Figura 4 – Critério de espacialização das cenas obtidas pelo sensor MODIS. Cada órbita ponto, ou <i>tile</i> define uma cena.....	24
Figura 5-Esquema de um sistema frontal.....	38
Figura 6 - Carta de pressão barométrica evidenciando a aproximação de um sistema frontal polar, onde H = Alta pressão e L = Baixa pressão	40
Figura 7 - Imagem MODIS mostrando o perfil longitudinal traçado e a delimitação da máscara da Lagoa Mangueira.....	45
Figura 8 – Rotas de atuação das frentes frias no inverno (a) e verão (b).	46
Figura 9 – Sistemas frontais do mês de dezembro de 2005.....	51
Figura 10 – Sistemas frontais do mês de maio de 2005.	51
Figura 11 – Sistemas frontais do mês de julho de 2005.	52
Figura 12 – Sistemas frontais do mês de agosto de 2005.....	52
Figura 13 – Sistemas frontais do mês de junho de 2006.	53
Figura 14 – Sistemas frontais do mês de julho de 2006.	53
Figura 15 – Sistemas frontais do mês de agosto de 2006.....	54
Figura 16 – Imagem (a) 01/12/05 Imagem (b) 03/12/05	58
Figura 17 – Imagem (a) 06/12/05 Imagem (b) 08/12/05	58
Figura 18 – Imagem (a) 10/12/05 Imagem (b) 13/12/05	59
Figura 19 – Imagem (a) 18/12/05 Imagem (b) 21/12/05	59
Figura 20 – Imagem (a) 04/05/05 Imagem (b) 08/05/05	60
Figura 21 - Imagem (a) 15/07/05 Imagem (b) 17/07/05.....	60
Figura 22 – Imagem (a) 12/08/05 Imagem (b) 20/08/05	61
Figura 23 – Imagem (a) 08/06/06 Imagem (b) 12/06/06.....	61
Figura 24 – Imagem (a) 13/06/06 Imagem (b) 16/06/06.....	62
Figura 25 – Imagem (a) 07/07/06 Imagem (b) 09/07/06.....	62
Figura 26 – Imagem (a) 21/07/06 Imagem (b) 23/07/06.....	63
Figura 27 – Imagem (a) 19/08/06 Imagem (b) 21/08/06.....	63
Figura 28 – Imagem (a) 25/08/06 Imagem (b) 28/08/06.....	64
Figura 29 – PL na passagem do 1° SF.....	68
Figura 30 – PL na passagem do 2° SF.....	68
Figura 31 – PL na passagem do 3° SF.....	69
Figura 32 – PL na passagem do 4° SF.....	69
Figura 33 – PL na passagem do 1° SF.....	73
Figura 34 – PL na passagem do 2° SF.....	74
Figura 35 – PL na passagem do 3° SF.....	74
Figura 36 – PL na passagem do 4° SF.....	75

Figura 37 – PL na passagem do 5° SF.....	75
Figura 38 – PL na passagem do 6° SF.....	76
Figura 39 – PL na passagem do 7° SF.....	76
Figura 40 – PL na passagem do 8° SF.....	76
Figura 41 – PL na passagem do 9° SF.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações Técnicas do Sensor MODIS.	20
Tabela 2 - Especificações das Bandas 1 a 19 do Sensor MODIS.....	21
Tabela 3 - Especificações das Bandas 20 a 36 do Sensor MODIS.....	21
Tabela 4 - Sequência de Produtos MODIS.....	23
Tabela 5 - Especificações das bandas do sensor MODIS.....	30
Tabela 6 - Posicionamento dos pontos do PL de temperatura de superfície traçado na lagoa Mangueira.	45
Tabela 7 – Período de duração dos sistemas frontais.	55
Tabela 8 – Datas das imagens MODIS correspondentes às passagens dos sistemas frontais associadas com os dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar, RS.....	56
Tabela 9 – Estatísticas de temperatura de superfície da Máscara da lagoa Mangueira na entrada e saída dos sistemas frontais do mês de dezembro de 2005.....	66
Tabela 10 – Estatísticas da temperatura do PL da lagoa Mangueira na entrada dos sistemas frontais.	66
Tabela 11 – Teste t para amostras pareadas para o PL.....	67
Tabela 12 – Estatísticas de temperatura de superfície da Máscara da lagoa Mangueira na entrada e saída dos sistemas frontais dos meses de inverno de 2005/2006.	71
Tabela 13 - Estatísticas de temperatura de superfície do PL da lagoa Mangueira na entrada e saída dos sistemas frontais dos meses de inverno de 2005/2006.	72
Tabela 14 - Teste t para amostras pareadas para o PL dos meses de inverno 2005/2006.	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATBD	Algoritmal Theoretical Basis Document
AVHRR	Advanced Very High-Resolution Radiometer
BRDF	Bi-Directional Reflectance Distribution Functions
C_1, C_2	Constantes de Planck
CV	Coeficiente de Variação
EOS	Earth Observing System
HDF	Hierarchical Data Format
IFOV	Instantaneous Field Of View
L	Radiância espectral emitida
LOWTRAN	Low Resolution Atmospheric Radiance and Transmittance Model
LST	Land-Surface Temperature
Max	Máximo
Min	Mínimo
MODIS	Moderate resolution Imaging Spectroradiometer
MODTRAN	Moderate Spectral Transmittance/Radiance Code
MOSART	Moderate Spectral Atmospheric Radiance and Transmittance
NEAT	noise-equivalent temperature difference (Ruído Equivalente da Diferença de Temperatura).
SF	Sistema Frontal
SN	Direção Sul-Norte
SNR	Signal-to-noise ratio
PL	Perfil Longitudinal
T	Temperatura
TA	Temperatura ambiente
TSL	Temperatura de Superfície da Lagoa
TIR	Infrared Thermal
TIF	Tagged Image File Format
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

ε	Emitância espectral
λ	Comprimento de onda
ε	Emissividade
μ	Média da TSL
σ	Desvio padrão da TSL
$E_d(j)$	Irradiância solar difusa
$E_t(j)$	Irradiância solar atmosférica descendente
$t_i(j)$	Funções de transmissão dos termos da radiância e irradiância
ε_{31}	Emissividade da superfície na banda 31
ε_{32}	Emissividade da superfície na banda 32
τ	Profundidade óptica
ϕ	Ângulo azimute
$\bar{\Omega}$	Direção da radiância
R_g	Matriz da superfície difusa de reflexão
$\bar{\varepsilon}$	Vetor de emissividade
$\tilde{\omega}$	Albedo de espalhamento simples q
P	Espalhamento da função de fase
$L \uparrow$	Vetor de radiâncias espectrais ascendentes no topo da atmosfera
Ψ	Função resposta do sensor para os comprimentos de onda
μ	Cosseno do ângulo de visada zênite
$B(\lambda, T_s)$	Radiância emitida pelo corpo negro
E_0	Irradiância solar espectral incidente no topo da atmosfera
μ_0	Cosseno do ângulo solar zenital,
ϕ_0	Azimute relativo entre a direção de visualização e ao feixe solar de direção
T_{31}	Temperaturas de brilho na banda 31
T_{32}	Temperaturas de brilho na banda 32
T_{ar}	Temperatura atmosférica ao nível da superfície
T_s	Temperatura da superfície termodinâmica

SUMÁRIO

1	MOTIVAÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	ASPECTOS DA VEGETAÇÃO E VENTO NA LAGOA MANGUEIRA.....	17
3.2	RADIAÇÃO TÉRMICA E MEDIDA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO	18
3.3	SENSORIAMENTO REMOTO - SENSOR MODIS	20
3.3.1	PRODUTO MODIS – MOD11 – TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DA TERRA E EMISSIVIDADE.....	22
3.3.2	ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE PELO SENSOR MODIS 24	
3.3.3	ALGORITMO DA JANELA DIVIDIDA GENERALIZADO.....	34
3.4	CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS FRONTAIS.....	37
3.4.1	CLIMA REGIONAL.....	39
3.5	TEMPERATURA NA ÁGUA	41
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4.1	DADOS ORBITAIS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	44
4.2	DADOS METEOROLÓGICOS.....	45
4.3	IMAGENS DO SENSOR MODIS NA PASSAGEM DOS SISTEMAS FRONTAIS	57
4.3.1	IMAGENS DO SENSOR MODIS DO MÊS DE DEZEMBRO/2005.....	58
4.3.2	IMAGENS DO SENSOR MODIS DOS MESES DE INVERNO 2005/2006.....	60
4.4	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	64
5	RESULTADOS	65
5.1	ANÁLISE DE RESULTADOS DO MÊS DEZEMBRO/2005.....	65
5.1.1	TESTE DE HIPÓTESE PARA PL DO MÊS DE DEZEMBRO/2005	66
5.2	ANÁLISE DE RESULTADOS DOS MESES DE INVERNO 2005/2006.....	71
5.2.1	TESTE DE HIPÓTESE PARA PL DOS MESES DE INVERNO 2005/2006.....	72

5.3	DISCUSSÃO GERAL.....	79
6	CONCLUSÕES.....	82
7	ANEXOS.....	84
7.1	TRABALHOS PUBLICADOS E ACEITOS.....	84
7.1.1	Analysis of Remote Surface Temperature of a Coastal Lagoon in Southern Brazil during the Passage of Frontal Systems	84
7.1.2	Estudo da Temperatura Superficial de Lagoas Costeiras Através de Paraâmetros Meteorológicos e Dados de Sensoriamento Remoto.....	92
7.2	TRABALHO SUBMETIDO.....	96
7.2.1	Análise da Temperatura Superficial de Uma Lagoa Costeira Integrada com Dados Orbitais e Meteorológicos na Passagem de Sistemas Frontais.....	96
8	REFERÊNCIAS	109

1 MOTIVAÇÃO

As medidas de grandezas geofísicas em ambientes naturais podem revelar e prever o efeito de impactos ambientais em particulares ecossistemas caracterizados por uma escala temporal geológica de curta duração. Os ecossistemas aquáticos que apresentam pequenas extensões, como lagoas que ocorrem na interface entre os oceanos e regiões continentais de terra firme (região costeira), possuem uma dinâmica própria e são sensíveis às mudanças meteorológicas provocadas por sistemas frontais (SF) (Tundisi et al., 2010; Mohseni; Mohseni et al., 2003). A temperatura de superfície nestes corpos d'água sofre alterações com a passagem de um SF. Neste sentido, os efeitos de um SF sobre a temperatura de superfície de uma lagoa podem ser estudados quando se considera a média dos parâmetros meteorológicos em longos períodos de tempo. Portanto, é importante medir as temperaturas superficiais de lagoas e estabelecer as suas relações com os parâmetros meteorológicos (Dousset e Gourmelon, 2003;).

Apesar da importância de se realizar observações de parâmetros meteorológicos, a obtenção de medidas “*in loco*” destas quantidades em corpos de água situados em terrenos acidentados é uma tarefa extremamente difícil. A coleta de dados em meios aquáticos envolve uma logística complicada, uma vez que forçantes meteorológicos presentes no momento da coleta podem tornar inviável o procedimento de medida. Normalmente, as observações em lagoas são interrompidas por alterações súbitas na magnitude do vento. A área de estudo, além de situada em local de difícil acesso, apresenta dificuldades de navegação em função das mudanças rápidas do tempo meteorológico local. O processo de navegação requer dias de céu claro e sem vento, uma vez que os equipamentos de medida requerem estabilidade para o perfeito funcionamento. Neste sentido, o uso de dados orbitais se torna uma ferramenta imprescindível para coleta de dados.

Uma técnica alternativa que permite medir as temperaturas superficiais de lagoas costeiras é baseada no emprego de dados orbitais (Ustin S L., 2004). Estas medidas, obtidas a partir de dados de sensores orbitais, reproduzem continuamente e de forma detalhada as temperaturas superficiais destes particulares ecossistemas aquáticos em diferentes situações meteorológicas. Tais situações meteorológicas podem representar a passagem de um SF. Alguns parâmetros são alterados com a passagem destes sistemas, como por exemplo, a temperatura ambiente, a velocidade e a direção do vento. Atualmente, não se sabe a extensão da mudança ou influência destes parâmetros

meteorológicos com a temperatura superficial e o quanto vai influenciar o ecossistema aquático com a passagem de SF. Estes fenômenos transitórios desestabilizam a coluna d'água e como consequência podem desestabilizar os fatores bióticos do ecossistema (Tundisi *et al.*, 2010). Com a passagem de um SF pode ocorrer diminuição ou aumento tanto da radiação solar incidente quanto da temperatura do ar e da velocidade do vento. Neste caso, as observações das temperaturas superficiais, mediadas em uma escala de tempo, podem revelar padrões importantes de mudanças climáticas.

Outro aspecto a ser considerado são as atividades antrópicas sofridas pelos ecossistemas aquáticos. Na região sul do Brasil, no Estado do Rio Grande do Sul (RS), estão presentes particulares lagoas caracterizadas por tempos geológicos pequenos. Tais sistemas aquáticos, extremamente dependentes de mudanças ambientais, são suscetíveis às atividades antrópicas da região. Impactos de atividades humanas sobre estas lagoas e em ambientes marginais podem ser detectados pela transformação da paisagem natural em pastagem, pesca, lazer, pelo lançamento de detritos pela população não-consciente e pelo uso descontrolado da água como irrigação para lavouras. Esse reconhecimento do ambiente e dos componentes associados a ele, através de observações diretas, é valioso para monitorar e desenvolver pesquisas em suas diversas abordagens. Desta forma, as pesquisas em ambientes aquáticos devem levar em conta não só os fatores hidrológicos, mas também os fatores ambientais e os meteorológicos, tanto em seus aspectos espaciais como temporais.

O presente estudo emprega imagens orbitais para se medir de forma remota a temperatura superficial da lagoa Mangueira . Estas observações são realizadas durante a passagem de sistemas frontais no sul do Brasil. A integração de dados orbitais e de dados terrestres de uma estação meteorológica, associada à passagem de sistemas frontais é um tema inédito e original, pois estudos mostram a mudança em lagos, mas não a interação da temperatura superficial com os parâmetros meteorológicos na passagem dos SF. Para a realização deste trabalho foi empregada a estimativa da temperatura de superfície do produto MOD11(Temperatura de Superfície e Emissividade) do sensor MODIS e dados meteorológicos medidos na estação de Santa Vitória do Palmar, Estado do Rio Grande do Sul RS. O Produto MOD11 calcula a temperatura de superfície terrestre em função da radiância espectral e das medidas de emissividades nas bandas 31(10,78 a 11,28 μm) e 32(11,77 a 12,27 μm) do infravermelho termal.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a variação de temperatura de um corpo d'água (Lagoa Mangueira) na passagem de sistemas frontais e relacionar com as variáveis micrometeorológicas, bem como a temperatura ambiente, o vento e a sua direção.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar padrões de comportamento da temperatura de superfície antes e após a passagem de SF.
- Analisar a série de dados da temperatura de superfície de dezembro de 2005 e a série de dados dos meses de inverno 2005/2006.
- Verificar a magnitude dos parâmetros meteorológicos no mês de dezembro/2005 e nos meses de inverno/2005 e 2006 e relacioná-los com a temperatura de superfície.
- Verificar se as mudanças de temperatura da superfície da lagoa Mangueira são influenciadas pelas perturbações causadas pelas variáveis meteorológicas na passagem dos SFs.
- Analisar se as frentes frias de dezembro e as frentes frias no inverno causam o mesmo impacto na temperatura de superfície da lagoa.
- Testar estatisticamente as séries de dados de verão e inverno e verificar se existe diferença significativa na temperatura de superfície da lagoa Mangueira antes e após a passagem dos SFs.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A lagoa Mangueira (Figura 1), objeto de estudo, é um ecossistema de água doce, constituído principalmente por um corpo de água raso, apresentando profundidades que variam entre 1,5 e 6 m (Delaney,1965). Ela possui uma forma alongada com 92 km de comprimento e com uma largura oscilando entre 2 e 10 km. A sua área aproximada é de 820 km² e se estende na zona costeira do sul do Brasil, sendo localizada entre os municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande. Esta lagoa constitui uma parte do Sistema Hidrológico da Reserva do Taim, abrangendo uma área total de 2254 Km². Ela é rodeada por uma variedade de habitats, tais como praias, florestas, pastagens e dunas de zonas úmidas. Atualmente, a orizicultura constitui a principal atividade econômica da região e a extração de água da lagoa Mangueira para as lavouras tem alterado o seu regime hidrológico. Ambientes lacustres, como o sistema formado pela lagoa Mangueira são transitórios, pois dependem da dinâmica geológica, fluvial e do clima da região. Neste sentido, a complexidade e o balanço ecológico delicado dos ambientes que formam a paisagem do entorno desta lagoa são sensíveis à ação antrópica fomentada pela exploração agrícola (orizicultura).

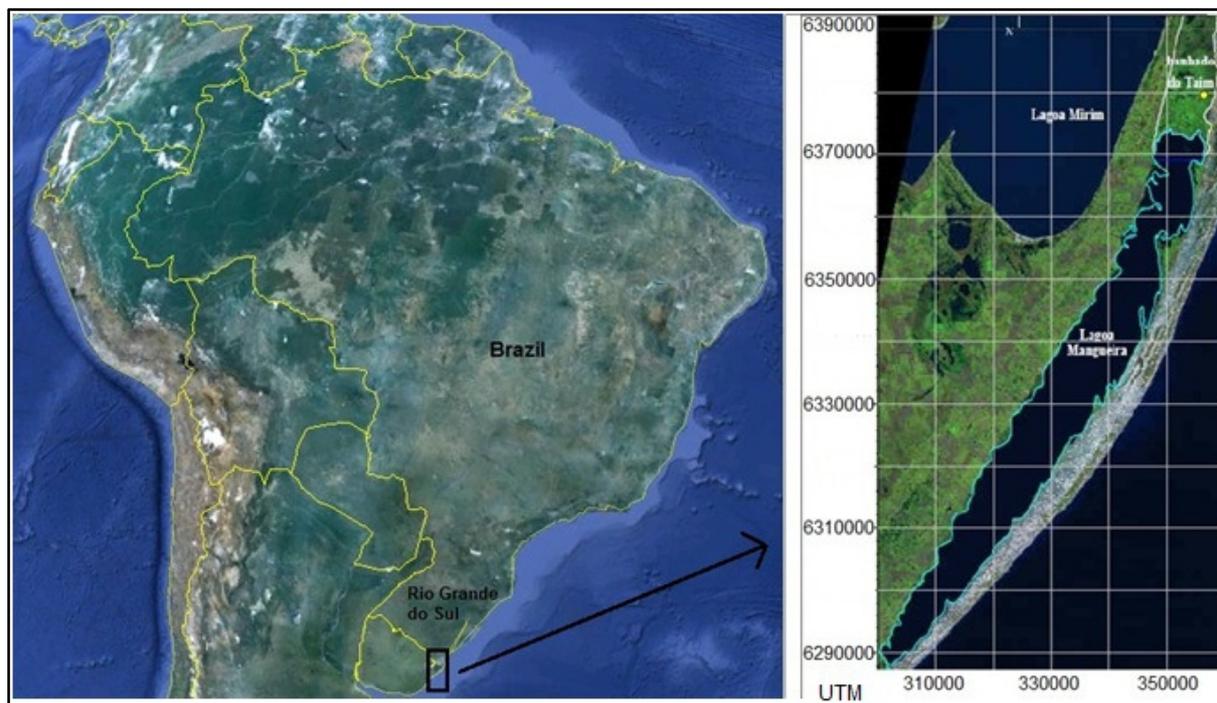


Figura 1 - Área de estudo, Lagoa Mangueira, RS, Brasil.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ASPECTOS DA VEGETAÇÃO E VENTO NA LAGOA MANGUEIRA

Na região costeira do RS, a vegetação e o vento são dois agentes responsáveis pelas alterações na hidrodinâmica dos sistemas lacustres. Segundo Rodrigues (2009), a lagoa Mangueira possui diferentes características bióticas e apresenta distintas propriedades físico-químicas da água. Tais mudanças são demonstradas por gradientes espaciais e temporais das diferentes propriedades. Os estudos de Rodrigues (2009) mostram que a região norte da lagoa Mangueira é caracterizada pela presença de plantas macrófitas emergentes e a parte sul por plantas macrófitas submersas. Na região norte da lagoa a transparência média da água é baixa. Nesta região, existe um aumento na concentração de sólidos totais que está associada a entrada de nutrientes e matéria orgânica originadas do banhado que constitui a reserva do Taim. Tal escoamento de materiais gera uma maior concentração de clorofila em relação ao sul, uma região na qual se tem águas mais claras. Diferentes espécies de algas, presentes na lagoa Mangueira, possuem distintas temperaturas ótimas de crescimento. Estas temperaturas, para a maioria das algas, variam entre 15 e 25°C. Particularmente, a lagoa Mangueira é um habitat que apresenta condições favoráveis à manutenção e ao desenvolvimento de uma espécie de alga do gênero *Spirulina*. A *Spirulina* é um importante nutriente na cadeia alimentar das diferentes espécies presentes na lagoa Mangueira.. As algas do gênero *Spirulina* toleram elevadas temperaturas, que podem estar situadas entre 30 e 40°C.

Considerando-se os ventos, Fragoso Jr. *et al.* (2008) mostra que os escoamentos de ar predominantes na lagoa Mangueira são de nordeste para sudoeste (velocidade média de 8 m/s), seguindo o eixo principal da lagoa. A passagem de frentes frias são mais comuns no inverno do que no verão. Como consequência, o regime de ventos dominantes move as águas superficiais em direção ao sul da lagoa Mangueira (Delaney 1965; Godolphin 1976; Zeltzer 1976; Tomazelli 1993). Este campo de vento gera uma energia suficiente para que ocorra uma ressuspensão de sedimentos finos, resultando um longo *fetch* que pode alcançar 90 km. Ao mesmo tempo, como consequência de toda essa cadeia trófica, sedimentos finos e nutrientes associados são transportados para o Norte através da contra-corrente de fundo, criando no sul da lagoa sedimentos arenosos, elevada transparência média da água e baixa concentração de clorofila-*a*.

3.2 RADIAÇÃO TÉRMICA E MEDIDA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A radiação térmica é a emissão de energia que se propaga pelo espaço, mesmo vazio, por meio de ondas eletromagnéticas. Segundo a Mecânica Quântica, a radiação pode se comportar de duas maneiras: como uma onda (utilizando a teoria eletromagnética) e como partículas de fótons (pacotes de energia sem massa). Quando um corpo tem sua temperatura acima do zero absoluto (273,16 K) ele é capaz de emitir radiação térmica e se pode atribuir propriedades típicas de uma onda eletromagnética. A radiação térmica é, portanto, um fenômeno ondulatório, diferindo apenas no seu comprimento de onda (λ). O conjunto de todas as radiações eletromagnéticas ordenadas segundo as suas frequências, ou seus comprimentos de onda é o espectro eletromagnético, Figura 2. Assim, em um meio material cada radiação tem uma velocidade de propagação diferente de qualquer outra. Portanto, a irradiação térmica é o conjunto de todas as radiações emitidas por um corpo.

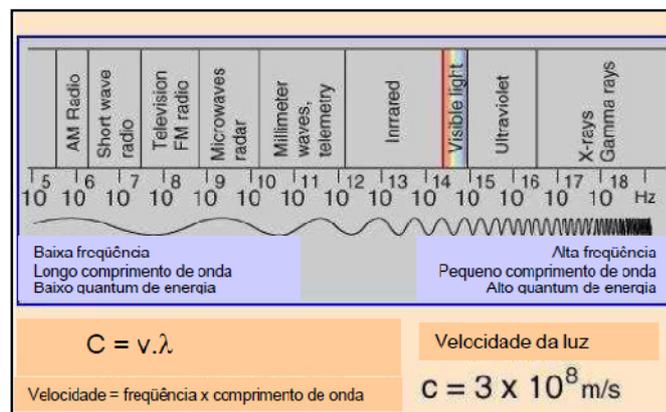


Figura 2 - Espectro eletromagnético

Fonte: hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/ems1.html#c1

O uso do sensoriamento remoto para estimar a temperatura da superfície da terra emprega a função de Planck. As medidas da temperatura da água por sensoriamento remoto são realizadas com sensores que detectam radiação termal (3-5 e 8-14 μm) emitida pela camada milimétrica (0.1 mm) da superfície da água.

A taxa emitida em cada comprimento de onda, chamada de emitância ou poder emissivo espectral [$\text{W}/\text{m}^2 \mu\text{m}$] do corpo negro é dado por:

$$E(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]}$$

(1)

No qual, $C_1 = 1,19104356 \cdot 10^{-16}$ (Wm^2), $C_2 = 1,4387685 \cdot 10^4$ (μmK) são constantes, T é a temperatura (K) e λ é o comprimento de onda medido (μm).

Um corpo negro a uma determinada temperatura emite radiação por unidade de comprimento, em todos os comprimentos de onda próximos de zero ao infinito, mas não a mesma quantidade de radiação em cada comprimento de onda. Assim, a razão entre as emitâncias reais e de corpo negro é o que se denomina de emissividade do corpo real e é expressa pela seguinte razão:

$$\varepsilon_{\lambda,T} = \frac{E_{\lambda}}{E_{\lambda,b}} \quad , \quad (2)$$

na qual, E_{λ} é a emitância espectral do corpo real em um dado comprimento de onda e temperatura. $E_{\lambda,b}$ é a emitância espectral do corpo negro à mesma temperatura e comprimento de onda do corpo real. A Figura 3 mostra a emitância do corpo negro para quatro temperaturas em escala linear.

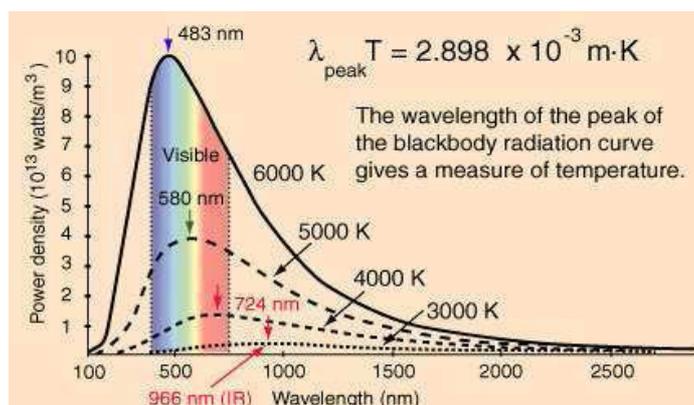


Figura 3 - Emitância espectral de corpo negro para quatro temperaturas, em escala linear.

Fonte: <http://www.ir-impac.com/englisch/Pyrometerhandbook.pdf>

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO - SENSOR MODIS

O sensor MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectroradiometer*) é um instrumento a bordo do satélite TERRA, pertencente ao programa Earth Observing System (EOS), da NASA, cujo objetivo geral, segundo Justice et.al (2002), é determinar como a Terra esta mudando e quais são as conseqüências para a vida na Terra. A Tabela 1 mostra as especificações técnicas do sensor MODIS.

Tabela 1- Especificações Técnicas do Sensor MODIS.

Alcance Espectral	0,4 a 14,4 μm
Órbita	705Km, síncrona com o Sol, polar; 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente.
Resolução Espacial	250m (2 bandas), 500m (5 bandas), 1000m (29 bandas) em nadir. Total 36 bandas.
Cobertura de Repetição	Diária, a norte da latitude 30^0 e a cada 2 dias para latitudes inferiores a 30^0 .
Quantização	12 bits
Precisão Radiométrica	5% Absoluto, $<3 \mu\text{m}$; 1% Absoluto, $>3 \mu\text{m}$; 2% de reflectância.

FONTE: Modificada de Barker *et al.* (1992, p. 3-4) e Justice *et al.* (2002a, p.4).

O sensor MODIS fornece observações simultâneas das feições atmosféricas (cobertura de nuvens e propriedades associadas), oceânicas (temperatura da superfície do mar e clorofila) e terrestres (mudanças de cobertura da terra, temperatura da superfície do terreno e propriedades da vegetação). As 36 bandas do MODIS estão listadas na Tabela 2 e 3, em função do comprimento de onda e da resolução espacial.

Tabela 2 - Especificações das Bandas 1 a 19 do Sensor MODIS.

Uso Primário	Banda	Largura de Banda (nm)	Resolução Espacial	SNR *
Superfície terrestre/nuvem	1	620-670	250	128
	2	841-875	250	201
Propriedades da superfície /nuvem	3	459-479	500	243
	4	545-565	500	228
	5	1230-1250	500	74
	6	1628-1652	500	275
	7	2105-2155	500	110
Cor dos Oceanos/Fitoplâncton/Bioquímica	8	405-420	1000	880
	9	438-448	1000	838
	10	483-493	1000	802
	11	526-536	1000	754
	12	546-556	1000	750
	13	662-672	1000	910
	14	673-683	1000	1087
	15	743-753	1000	586
	16	862-877	1000	516
Vapor d'água Atmosférico	17	890-920	1000	167
	18	931-941	1000	57
	19	915-965	1000	250

SNR* – “Signal-to-noise ratio” (Razão Sinal Ruído).

FONTE: Adaptadas de Barker *et al.* (1992, p. 3-4) e Lillesand e Kiefer (1994, p. 516).

Tabela 3 - Especificações das Bandas 20 a 36 do Sensor MODIS.

Uso Primário	Banda	Largura de Banda (nm)	Resolução Espacial	NE Δ T ¹ *
Temperatura nuvens/superfície	20	3660-3840	1000	0,05
	21	3929-3989	1000	2,00
	22	3929-3989	1000	0,07
	23	4020-4080	1000	0,07
Temperatura Atmosférica	24	4433-4498	1000	0,25
	25	4482-4549	1000	0,25
Cirrus	26	1360-1390	1000	150 ⁽²⁾
Vapor d' água	27	6535-6895	1000	0,25
	28	7175-7475	1000	0,25
	29	8400-8700	1000	0,05
Ozônio	30	9580-9880	1000	0,25
Temperatura nuvens/superfície	31	10780-11280	1000	0,05
	32	11770-12270	1000	0,05
Altitude Topo da nuvem	33	13185-13485	1000	0,25
	34	13485-13785	1000	0,25
	35	13785-14085	1000	0,25
	36	14085-14385	1000	0,35

1-NE Δ T¹ – “noise-equivalent temperature difference” (Ruído Equivalente da Diferença de Temperatura).

FONTE: Adaptadas de Barker *et al.* (1992, p. 3-4) e Lillesand e Kiefer (1994, p. 516).

As bandas de 1-19, Tabela 2, estão localizadas na região do espectro eletromagnético entre 405 nm a 2155 nm. As bandas 1-7 estão direcionadas para aplicações terrestres; as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, Tabela 3, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro (3660nm a 14385nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (Barker *et al.*, 1992).

3.3.1 PRODUTO MODIS – MOD11 – TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DA TERRA E EMISSIVIDADE

O produto MOD11 (Temperatura da Superfície da Terra e Emissividade) utilizado neste trabalho estima a temperatura de superfície terrestre em diferentes alvos naturais, visto a importância deste parâmetro para avaliar a forma de interação dinâmica com a superfície terrestre. O produto MOD11 é destinado a quantificar e detectar a variabilidade da cobertura terrestre nos processos naturais e antrópicos, auxiliando nos diversos modelos regionais e globais existentes (Strahler *et al.*, 1999). O MOD 11 é uma das variáveis chaves necessárias para descrever os processos da superfície terrestre, sendo extremamente requisitados para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (Running *et al.*, 1994). Cita-se, como exemplo de processos hidrológicos, a evapotranspiração, que é altamente sensível às flutuações da temperatura da superfície. Os produtos MODIS de temperatura de superfície terrestre (LST) são arquivados em formato de dados hierárquicos – Earth Observing System (HDF-EOS). Desenvolvido pela NSCA, HDF é o formato de arquivo padrão para os produtos EOS (EOSDIS), Informação de Dados do Sistema.

As observações de temperatura da superfície terrestre fornecidas pelo produto MOD11 do sensor MODIS na resolução espacial de 1 km são calculadas a partir do algoritmo “*generalized split-window*” (Wan e Dozier, 1996), o qual assume um conhecimento a priori da emissividade. Os produtos de emissividades das bandas 31(10,78 a 11,28 μm) e 32 (11,77 a 12,27 μm) são obtidos com base em uma classificação, na qual o pixel da imagem é identificado com 14 classes de uso da terra pré-definidas e com os valores correspondentes de emissividade (Snyder *et al.*, 1998). A partir do conhecimento a priori da emissividade, o algoritmo “*generalized split-window*” realiza a correção atmosférica baseado na absorção diferencial entre as duas bandas termais (31 e 32) do MODIS (LIANG, 2004). A descrição completa do algoritmo é desenvolvida nas seções 3.3.2 e 3.3.3.

Os dados do produto MOD11 são produzidos por uma série de sete produtos. A sequência inicia com uma faixa (cena) com resolução espacial de um quilômetro. A Tabela 4 mostra os níveis de dados do produto. O nível 1B (L1B) é uma faixa (cena) de dados MODIS geolocalizados para latitude e longitude de centros de 1 pixel de resolução de 1 Km. O produto de nível 2 (L2) é um produto geofísico que permanece em latitude e longitude de orientação, não tem sido temporalmente manipulado. O produto de nível 3 (L3) é um produto geofísico que tem sido temporalmente ou espacialmente manipulado, e é geralmente em formato gridado de mapa de projeção referenciado como “tiles”. Cada órbita ponto (*tile*) é uma célula de 1200 linhas por 1200 colunas do mapa, a qual corresponde a uma área geocodificada de 1200 X 1200 Km (Figura 4) de projeção.

Tabela 4 - Sequência de Produtos MODIS.

Tipo de Dado Earth Science (ESDT)	Nível do Produto	Dados Nominais Dimensões da Matriz	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Mapa de Projeção
MOD11_L2	L2	2030 ou 2040 linhas por 1354 pixels por linha	1 Km	Faixa (cena)	Latitude e longitude Não referenciada
MOD11A1	L3	1200 linhas por 1200 colunas	1 Km	Diário	Sinusoidal
MOD11B1	L3	200 linhas por 200 colunas	6 Km	Diário	Sinusoidal
MOD11A2	L3	1200 linhas por 1200 colunas	1 Km	8 dias	Sinusoidal
MOD11C1	L3	360 ⁰ por 180 ⁰ (global)	0,05 ⁰ por 0.05 ⁰	Diário	Ângulo equatorial geográfico
MOD11C2	L3	360 ⁰ por 180 ⁰ (global)	0,05 ⁰ por 0.05 ⁰	8 dias	Ângulo equatorial geográfico
MOD11C3	L3	360 ⁰ por 180 ⁰ (global)	0,05 ⁰ por 0,05 ⁰	Mensal	Ângulo equatorial geográfico

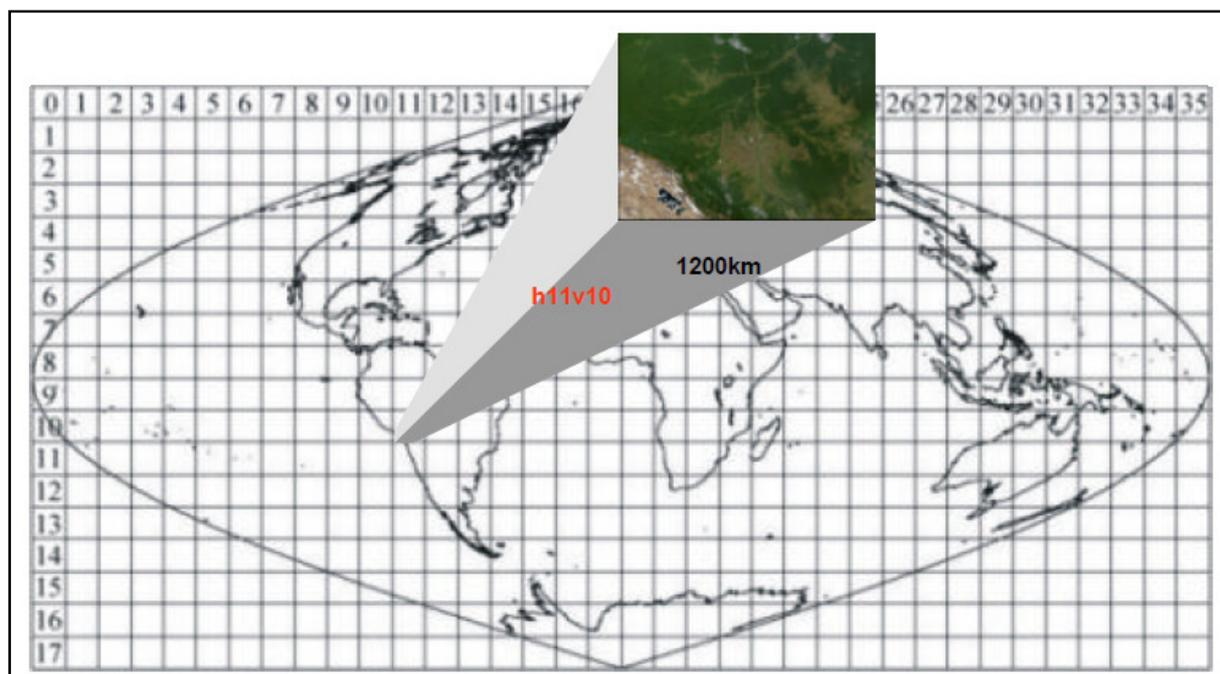


Figura 4 – Critério de espacialização das cenas obtidas pelo sensor MODIS. Cada órbita ponto, ou *tile* define uma cena.
 FONTE: UFG (2003).

3.3.2 ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE TERRESTRE PELO SENSOR MODIS

A estimativa do cálculo de temperatura de superfície do sensor MODIS é desenvolvida através da versão 3.3 do *Algorithmal Theoretical Basis Document* (ATBD) para o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Land-Surface Temperature (LST). Esta versão é um documento evolutivo da base teórica do algoritmo LST MODIS, sendo que mudanças importantes foram feitas na versão 2, após a primeira revisão ATBD em 1994 (Wan, 1999).

3.3.2.1 Descrição Teórica do Algoritmo

A descrição da teoria fundamental para o desenvolvimento do algoritmo LST é dado por [Wan and Dozier, 1989]. A radiância espectral emitida L , no comprimento de onda λ da temperatura da

superfície termodinâmica T_s é dada multiplicando a função de Planck pela emissividade espectral $\varepsilon(\lambda)$.

$$L(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda)B(\lambda, T_s) \quad (3.1)$$

Em geral, a radiância emitida é dependente azimutalmente da absorção e a camada de espalhamento é regulada pela equação de transferência radiativa monocromática.

$$\mu \frac{dL(\tau, \vec{\Omega})}{d\tau} + L(\tau, \vec{\Omega}) = J(\tau, \vec{\Omega}), \quad (3.2)$$

τ é a profundidade óptica, e $L(\tau, \vec{\Omega})$ é a radiância do nível τ ao longo da direção $\vec{\Omega}$, o qual é composto do ângulo zenital $\arccos \mu$ e azimute ϕ . A designação espectral é omitida da equação por simplicidade.

A função de origem J é

$$J(\tau, \vec{\Omega}) = \frac{\tilde{\omega}}{4\pi} \int_{4\pi} P(\tau, \vec{\Omega}; \vec{\Omega}') L(\tau, \vec{\Omega}') d\Omega' + Q(\tau, \vec{\Omega}), \quad (3.3)$$

aqui, $P(\tau, \vec{\Omega}; \vec{\Omega}')$ é a função de fase de espalhamento. O termo Q em (3.3) representa fontes internas. Ao separar a radiação direta a partir da radiação difusa, considera-se a radiação dispersa a partir do feixe direto ou do feixe especularmente refletido direto como causa por algumas pseudo-fonte internas. Então, a fonte interna total é

$$Q(\tau, \vec{\Omega}) = Q_t(\tau, \vec{\Omega}) + Q_s(\tau, \vec{\Omega}) + Q_{sp}(\tau, \vec{\Omega}), \quad (3.4)$$

Q_t é a fonte termal, Q_s e Q_{sp} são as direções e as pseudo-fontes especulares, respectivamente.

Ao aplicar o princípio da interação [Grant e Hunt, 1969] e o método de duplicação/adição [Wiscombe 1976], a forma da matriz da equação integral diferencial da transferência radioativa pode ser aplicada na multi-camada não homogênea da atmosfera. [Li et al., 1987]. As condições de contorno que precisam ser satisfeitas são que $L \downarrow(0)$ deve ser especificado (normalmente zero) e

$$L \uparrow (\tau_0) = R_g L \downarrow (\tau_0) + \bar{\epsilon} B(T_s) + \mu_0 E_0 e^{-\tau_0 / \mu_0} f_r(\mu_0) \quad (3.5)$$

A radiância $L \downarrow \uparrow$ são vetores $m \times n$ elementos espaço discreto angular composto pelos ângulos m zênite e n de azimute. R_g é a matriz da superfície difusa de reflexão, T_s é a temperatura de superfície, $f_r(\mu_0)$ é o vetor da superfície BRDF do feixe direto e $\bar{\epsilon}$ é o vetor de emissividade. A emissividade direcional e o vetor f_r BRDF estão relacionados pela lei de *Kirchhoff's*.

$$\epsilon(\mu) = 1 - \int_0^1 \int_0^{2\pi} \mu' f_r(\mu; \mu', \phi') d\mu' d\phi' \quad (3.6)$$

Resultados numéricos obtidos pelo uso do método duplicação/adição foram comparados com os resultados obtidos pela utilização do método ordinal/discreto e validados [Stamnes e Conklin, 1984]. O método duplicação/adição é usado em suas simulações de transferência radiativa devido às suas vantagens de fácil implementação de interfaces de superfície, tais como a interface ar-água e interfaces para reflectância especular ou reflectância bidireccional, e na obtenção eficiente de soluções para condições de contorno múltiplas. Tal como descrito, o modelo é para o caso monocromático somente.

Para o modelo da atmosfera, é preciso conhecer as propriedades atmosféricas ópticas. Entre elas, as mais importantes, são a espessura óptica τ_0 , albedo de espalhamento simples $\tilde{\omega}$, e o espalhamento da função de fase P que depende de perfis atmosféricos (pressão, temperatura, vapor d'água, ozônio e distribuições de densidade de aerossóis). LOWTRAN7 [Kneizys et al., 1988] e MODTRAN [Berk et al., 1989] fornecem coeficientes de absorção nas bandas de absorção para os cálculos de média das funções de transmissão atmosféricas molecular com número de onda no intervalo de 5 cm^{-1} e 1 cm^{-1} , respectivamente. Eles não são transmitância monocromática. Esta média provoca violação da lei de Lambert-Bouguer-Beer devido a complexidade das bandas de absorção

molecular mesmo num intervalo de número de onda estreita. Uma solução para este problema consiste em expandir funções de transmissão radiativa calculadas a partir LOWTRAN ou MODTRAN pelo uso de exponencial de soma encaixe [Wiscombe e Evans, 1977]. O modelo de transferência radiativa monocromática é aplicado separadamente para cada termo da expansão exponencial de soma, e os resultados são então somadas.

Tal descrição do modelo de transferência radiativa atmosférica será referida como ATRAD-LOW ou ATRAD-MOD, dependendo das tabelas exponenciais de soma derivadas de LOWTRAN ou funções de transmissão MODTRAN. Ao resolver a equação de transferência radiativa na faixa de comprimento de onda, de uma banda no termal de um sensor do satélite, temos a distribuição angular de radiância espectral média.

$$L^{\bar{\uparrow}} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \psi(\lambda) L^{\uparrow}(\lambda, 0) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \psi(\lambda) d\lambda} \quad (3.7)$$

$L^{\bar{\uparrow}}(\lambda, 0)$ é o vetor de radiâncias espectrais ascendentes no topo da atmosfera e ψ é a função resposta do sensor para os comprimentos de onda cujo limites inferior e superior são $[\lambda_1, \lambda_2]$. Do ponto de vista teórico, o sucesso do algoritmo LST depende de: 1) efeito atmosférico representado com precisão; 2) efeitos de emissividade da superfície representados com precisão e 3) da qualidade dos dados, incluindo a estabilidade da função espectral de resposta do TIR, relação sinal-ruído, resolução radiométrica e precisão da calibração.

Em condições de céu claro, a radiância espectral do infravermelho $L(\lambda, \mu)$ no topo da atmosfera é composta da superfície termal $L_a(\lambda, \mu)$, da radiância resultante do espalhamento da radiação solar $L_s(\lambda, \mu, \mu_0, \phi_0)$, do feixe de radiação solar difusa e da radiação termal atmosférica refletida pela superfície.

$$L(\lambda, \mu) = t_1(\lambda, \mu) \epsilon(\lambda, \mu) B(\lambda, T_s) + L_a(\lambda, \mu) + L_s(\lambda, \mu, \mu_0, \phi_0) + t_2(\lambda, \mu, \mu_0) \mu_0 E_0(\lambda) f_r(\mu, \mu_0, \phi_0) + \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \mu f_r(\mu, \mu', \phi) [t_3(\lambda, \mu) L_u(\lambda, -\mu', \phi) + t_4(\lambda, \mu) L_l(\lambda, -\mu', \phi)] d\mu' d\phi, \quad (3.8)$$

Onde μ é o cosseno do ângulo de visada zênite, $\varepsilon(\lambda, \mu)$ é a emissividade espectral da superfície, $B(\lambda, T_s)$ é a radiância emitida pelo corpo negro à temperatura T_s , $E_0(\lambda)$ é a irradiância solar espectral incidente no topo da atmosfera (normal ao feixe), μ_0 é o cosseno do ângulo solar zenital, ϕ_0 o azimute relativo entre a direção de visualização e ao feixe solar de direção, $f_r(\mu; \mu', \phi')$ é a função BRDF (*Bi-Directional Reflectance Distribution Functions*), $L_d(\lambda, -\mu', \phi')$ é a radiância solar difusa descendente, $L_t(\lambda, -\mu', \phi')$ é a radiância termal atmosférica para baixo, a sua direção de incidência é representado por $-\mu'$ e ϕ' , e $t_i(\lambda, \mu)$, $i = 1, \dots, 4$ são funções de transmissão para os termos correspondentes.

O comprimento de onda λ , em (3.8) é o centro de um comprimento de onda de um intervalo estreito, porque não há nenhuma maneira exata de medir o sinal monocromático como uma função contínua de comprimento de onda por sensores orbitais. Equação (3.8) é a forma usada na faixa do infravermelho termal de 8-14 μm [Wan e Dozier, 1990] generalizada em uma gama mais ampla de comprimento de onda de 3-14 μm . Isso requer cálculos completos da transferência radioativa atmosférica para determinar os valores de todos os termos do lado direito. Depois da radiância dependente do zênite e do azimute, em qualquer superfície da Terra para o topo da atmosfera (TOA) são fornecidas simulações precisas de simulações atmosféricas de transferência radioativa. A radiância TOA pode ser representada pelas suas componentes sob a forma de (8). A sua forma especial tem sido utilizada há muito tempo em muitos modelos de radiação atmosférica incluindo LOWTRAN [Kneizys et al., 1983], MODTRAN [Berk et al., 1987], e Mosart [Cornette et al., 1994] modelos. Na forma especial, $t_3(\lambda, \mu) = t_1(\lambda, \mu)$ e $t_4(\lambda, \mu) = t_1(\lambda, \mu)$ são assumidos.

A fim de adquirir a emissividade da superfície e da temperatura a partir da equação (8), precisa-se usar as bandas adequadas do TIR. De acordo com as especificações das bandas do MODIS, Tabela 5, e de transmissão atmosférica na visualização de 45° no nadir em condições de latitude no verão, as bandas 20, 22 e 23 estão na janela atmosférica no intervalo de comprimento de onda médio de 3,5 – 4,2 μm , as bandas 29-32 de 8-12 μm , enquanto a banda 33 é somente na borda da janela atmosférica. A banda 30 é fortemente afetada pela absorção de ozônio, o que não ajuda na aquisição da temperatura de superfície. Os maiores absorvedores nas bandas 20, 22 e 23 são CO_2 , N_2 , e vapor d'água. Nas bandas 29, 31-33, os maiores absorvedores são vapor d'água e CO_2 . A transmissão correspondente ao espalhamento de aerosol nestas bandas é de aproximadamente 0,95-

0,98. Então, é usada a distribuição média de aerossol na transferência radioativa atmosférica, que é suficientemente boa, a menos que fortes erupções vulcânicas mudem a distribuição de aerossol. Como a razão entre CO_2 e O_2 é sempre constante, suas densidades são determinadas pela pressão e temperatura atmosférica. O vapor d'água é o absorvedor mais variável na atmosfera da Terra. Portanto, se o vapor d'água atmosférico e o perfil de temperatura são conhecidos, pode-se calcular todos os termos atmosféricos na equação acima para uma precisão alta, que é limitada pela precisão dos coeficientes contínuos de vapor d'água e absorções da banda. As bandas de sondagem do MODIS podem ser usadas para adquirir a temperatura atmosférica e perfis de temperatura [Smith et al, 1985; Menzel and Purdom, 1994]. Mas a aquisição dos perfis atmosféricos necessita do conhecimento da emissividade de superfície, a fim de separar a contribuição de superfície e a dos dados de sondagem.

Desta forma, a qualidade dos perfis pode não ser muito boa em áreas onde a emissividade de superfície é altamente variável, como áreas áridas e semi-áridas. Embora os valores absolutos dos perfis de aquisição não sejam precisos, as formas dos perfis atmosféricos de temperatura e vapor d'água podem ser razoavelmente bem obtidas. Simulações de transferência radiativa mostram que a radiação no topo da atmosfera nas bandas 20, 22, 23, 29, 31-33, Figura 5, do TIR do MODIS quase não são afetadas pela mudança de temperatura atmosférica e perfis de vapor d'água com elevação acima de 9 km. Se as formas dos perfis de temperatura e vapor d'água na troposfera baixa podem ser razoavelmente bem adquiridas dos dados de sondagem do MODIS, podem ser usadas duas variáveis para descrever as variações atmosféricas. Uma é a quantidade de deslocamento do perfil de temperatura até 9 km de elevação. A outra é o fator de escala do perfil de vapor d'água para que se possa determinar a coluna de vapor d'água com a forma e o fator de escala. Então, é usada a temperatura atmosférica ao nível da superfície, T_{ar} , como uma variável representativa do perfil atmosférico da troposfera. Similarmente, pode-se usar a coluna de vapor d'água como representativa de seu perfil. Alternativamente, pode-se considerá-la como uma aproximação de primeira ordem para descrever a condição atmosférica através destas duas variáveis.

Tabela 5 - Especificações das bandas do sensor MODIS.

TABLE I. Specifications of the ECS MODIS bands.

band	bandwidth (nm)	IFOV	primary use	band	bandwidth (μm)	IFOV	$NE\Delta T$ ($^{\circ}\text{K}$)	primary use
1	620- 670	250m	L	20	3.660-3.840	1km	0.05	O, L
2	841- 876	250m	A, L	21	3.929-3.989	1km		fire, volcano
3	459- 479	500m	L	22	3.929-3.989	1km	0.07	A, L
4	545- 565	500m	L	23	4.020-4.080	1km	0.07	A, L
5	1230-1250	500m	L	24	4.433-4.498	1km	0.25	A
6	1628-1652	500m	A, L	25	4.482-4.549	1km	0.25	A
7	2105-2155	500m	A, L	27	6.535-6.895	1km	0.25	A
8	405- 420	1km	O	28	7.175-7.475	1km	0.25	A
9	438- 448	1km	O	29	8.400-8.700	1km	0.05	L
10	483- 493	1km	O	30	9.580-9.880	1km	0.25	ozone
11	525- 536	1km	O	31	10.780-11.280	1km	0.05	A, L
12	545- 556	1km	O	32	11.770-12.270	1km	0.05	A, L
13	662- 672	1km	O	33	13.185-13.485	1km	0.25	A, L
14	673- 683	1km	O	34	13.485-13.785	1km	0.25	A
15	743- 753	1km	O	35	13.785-14.085	1km	0.25	A
16	862- 877	1km	O	36	14.085-14.385	1km	0.35	A
17	890- 920	1km	A					
18	931- 941	1km	A					
19	915- 965	1km	A					
26	1360-1390	1km	cirrus					

Nota: A: Estudo da Atmosfera, L: Estudo da terra, O: Estudo do Oceano

A fim de fazer uso prático de dados multi-temporais e multi-canais, é preciso simplificar a equação (3.8) através da utilização de algumas hipóteses sobre as propriedades da superfície óptica. Assume-se:

- 1) a emissividade de superfície muda com a cobertura vegetal e com o teor de umidade da superfície, mas não muda significativamente em vários dias, a menos que ocorra chuva de orvalho ou neve durante um curto período de tempo, especialmente em solos descobertos em regiões áridas e ambientes semi-áridos, para o qual a superfície do solo é seco a maior parte do tempo [Kerr et al., 1992].

- 2) Há fortes variações espectrais na reflectância de superfície para a maioria dos materiais terrestres na faixa do comprimento de onda de 3,5-4,2 μm [Salisbury and D’Aria, 1994], mas seu fator anisotrópico BRDF neste intervalo de comprimento de onda possui variações muito pequenas ($\cong 2\%$) [Snyder and Wan, 1998; Snyder et al., 1997(b)]. Assim, parece apropriado assumir que um fator de anisotropia simples BRDF pode ser usado para o feixe de superfície solar nas bandas 20, 22 e 23 localizadas neste faixa de comprimento de onda. Este fator de anisotropia é definido pela razão da superfície solar refletida na direção de visada do sensor MODIS à radiância que resulta da superfície refletida isotrópica (tal superfície é chamada superfície lambertiana).

$$\alpha_r = \frac{\pi f_r(\mu; \mu_0, \phi_0)}{r}, \quad (3.9)$$

onde r é reflectância da superfície lambertiana assumida.

- 3) Simulações de transferência radiativa atmosférica mostram que em condições de céu-claro o termo da irradiância da superfície refletida solar é muito menor do que o termo da superfície refletida solar no intervalo do infravermelho termal, e o termo da irradiância da superfície refletida atmosférica descendente é menor do que a emissão da superfície termal. Desta foram, a aproximação Lambertiana da superfície de reflexão não introduz um erro significativo na região do infravermelho termal de 3-14 μm . Então, pode-se substituir a função BRDF $f_r(\mu, \mu', \phi')$ em (8) com r/π e vinculá-lo para a emissividade de superfície ϵ por $r=1-\epsilon$ de acordo com a lei de *Kirchhoff's*.

É importante salientar que em (8) separa-se o termo da superfície refletida solar a partir dos termos da irradiância (a integral da radiância solar difusa descendente) porque a mudança do ângulo zenital solar tem diferentes efeitos sobre estes dois termos. Como o ângulo zenital aumenta, o feixe solar no nível da superfície diminui, mas a irradiância solar difusa descendente pode aumentar em algumas situações. Se o feixe solar é incluído na irradiância solar total incidente na superfície e na superfície de reflectância (também chamada como reflectância hemisférica ou albedo no visível e no infravermelho próximo) é definida como a razão da radiância solar refletida pela superfície da irradiância solar total. A reflectância de superfície será dominada pela BRDF do feixe solar e, assim, a reflectância

depende significativamente do ângulo solar zenital [Schaaf and Strahler, 1993]. Após o feixe solar ser separado da irradiância solar descendente, pode-se usar o fator de anisotrópico BRDF para calcular a superfície refletida solar e usar a superfície de reflectância para calcular a irradiância da superfície refletida solar descendente. Desta forma, o ângulo solar e o ângulo de visada dependentes na superfície de reflectância serão menores, de modo que pode-se assumir a superfície como uma superfície Lambertiana.

Baseado nas suposições acima, a radiância medida no MODIS na banda j pode ser expressa como

$$L(j) = t_1(j)\varepsilon(j)B_j(T_s) + L_a(j) + L_s(j) + \frac{1 - \varepsilon(j)}{\pi} [t_2(j)\alpha_r\mu_0 E_0(j) + t_3(j)E_d(j) + t_4(j)E_t(j)] \quad (3.10)$$

onde todos os termos são a média das bandas, $\varepsilon(j)$ é a emissividade na banda. De forma semelhante para $B_j(T_s)$, $L_a(j)$, $L_s(j)$, e $E_0(j)$, $E_d(j)$ e $E_t(j)$ são a média da banda da irradiância solar difusa e irradiância da superfície atmosférica descendente. $E_t(j)$, $i = 1, \dots, 4$ são as funções de transmissão efetiva da banda ponderadas pela função de resposta da banda e dos correspondentes termos de radiância e irradiância. Negligenciou-se a variação espectral dentro da banda da emissividade de superfície na redução (8) para (10), e omitiu-se os símbolos de ângulo de visada e ângulo solar para a maioria dos termos na equação acima. No lado direito da equação, $\varepsilon(j)$, α_r , e $B_j(T_s)$ dependem das condições e propriedades da superfície e, todos os outros termos dependem do vapor d'água atmosférico e de perfis de temperatura, ângulo solar e ângulo de visada. Estes termos são dados por simulações de transferência radiativa. A função de resposta espectral medida a partir do Engineering Model do instrumento MODIS tem sido usada como pesos nos cálculos da média das bandas destes termos.

É importante salientar que em (3.10) t_3 e t_4 podem diferir de t_1 por vários percentuais. Isto é também verdadeiro em resultados de simulação a partir do código MODTRAN, o qual assume estas três funções de transmissão para ser igual em intervalo de número de onda de 1 cm^{-1} . Assim, os erros serão introduzidos pela substituição destas três funções de transmissão das banda com uma única transmissão, quando a banda de emissividade é significativamente menor que 1. Em um vasto intervalo da coluna de vapor d'água em condições de céu claro a partir de uma atmosfera tropical muito seca a muito húmida, substituindo t_3 e t_4 com t_1 em (3.10) causa um erro de $0,7\text{-}1,9 \text{ }^\circ \text{K}$ na

temperatura de superfície T_s estimada pela radiância da banda 29 do MODIS, se a banda de emissividade $\varepsilon(29)$ é de 0,75 e T_s é próxima à temperatura da superfície do ar. Os erros correspondentes das bandas 31 e 32 do MODIS são 0,4-0,8°K e 0,4-1,3°K, respectivamente.

Para a radiação atmosférica, a irradiância descendente é mais forte onde a absorção da banda molecular é grande, mas a banda de transmissão para estes comprimentos de onda é mais baixa para radiância refletida pela superfície que atinge o topo do atmosfera que tem um valor mais baixo. Para a radiação solar, somente aqueles comprimentos de onda em que as bandas de absorção molecular atmosférica é baixa irá alcançar a superfície, mas as bandas de transmissão para estes comprimentos de onda é elevada de modo que a radiância refletida pela superfície que atinge o topo da atmosfera será relativamente grande. Este exemplo, claramente mostra a importância da precisão do modelo de transferência radiativa no desenvolvimento dos algoritmos LST.

A emissividade média na banda para um alvo à temperatura T é definida por:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \psi(\lambda) \varepsilon(\lambda) B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \psi(\lambda) B(\lambda, T) d\lambda} \quad (3.11)$$

que é a uma função da temperatura de superfície. No ambiente da superfície, esta dependência da temperatura é geralmente muito pequena. A dependência da temperatura pode ser maior para pixels misturados com dois ou mais componentes que têm valores de emissividade e de temperaturas diferentes [Wan e Dozier, 1996]. No entanto, a emissividade calculada na banda a partir de espectros de reflectância de laboratório de qualquer amostra

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \psi(\lambda) \varepsilon(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \psi(\lambda) d\lambda} \quad 3.(11')$$

é independente da superfície da temperatura. Utiliza-se essa emissividade nos algoritmos LST. Do ponto de vista da detecção de satélites, a superfície terrestre está no topo da camada da interface (ou biosfera) entre limite inferior da atmosfera e a Terra sólida. Na região do infravermelho termal, a espessura do topo desta camada está dentro de poucos milímetros. As medidas mostram que a transmitância da radiação infravermelha no termal é menor do que 10% para uma única folha fina e perto de zero para uma folha espessa.

3.3.3 ALGORITMO DA JANELA DIVIDIDA GENERALIZADO

Se a emissividade espectral da superfície terrestre é conhecida, o método SST de multi-canal pode ser generalizado para o algoritmo LST para corrigir efeitos atmosféricos de uma atmosfera desconhecida [Wan e Dozier, 1989]. As principais diferenças entre este método e outros métodos são: 1) não requer perfis atmosféricos precisos, 2) não necessita simulações de transferência radiativa de pixel por pixel, 3) a sua precisão depende do conhecimento da emissividade da superfície. O algoritmo LST da janela dividida generalizado usa uma forma simples que requer menos tempo de computação.

Este método é proposto como o primeiro método para *at-launch* algoritmo LST MODIS, com base nas seguintes considerações de variações na atmosfera, LST e da emissividade da superfície terrestre: 1) as condições atmosféricas, especialmente perfil de vapor de água, são altamente variáveis com o tempo em ambas direções vertical e horizontal, e não é fácil medir o perfil de umidade relativa a uma precisão melhor do que 10%; 2) LST varia com a região e o tempo, e é menos acoplado com a temperatura da superfície do ar, a diferença de temperaturas entre o dia e a noite de tipos de cobertura do solo pode ser maior que 10 °C [Betts et al, 1996.]; 3) a emissividade da maioria dos tipos de cobertura vegetal nas Bandas MODIS 31 e 32 é relativamente estável.

De acordo com o desenvolvimento de algoritmos de TSM (Temperatura de Superfície do Mar), sabe-se que existe uma relação relativamente estável e simples entre os efeitos atmosféricos nas bandas 4 e 5 do sensor AVHRR. Os comprimentos de onda das bandas 31 e 32 do MODIS estão localizadas na mesma faixa espectral das bandas 4 e 5 do AVHRR, porém a largura da banda e as funções de resposta espectral são diferentes. Esta descoberta vem de simulações com modelos LOWTRAN7, MODTRAN, e também de outros modelos de transferência radioativa. A emissividade de superfície é assumida como sendo 0,98, em ambas as bandas 4 e 5. Quatro pares de faixa de

déficit de temperatura $T_s - T_j$ em ângulos zenitais de visualização, $11,4^\circ$, $26,1^\circ$, $40,3^\circ$ e $53,7^\circ$ são usados para mostrar o efeito do ângulo de visada. Assume-se que a relação $T_s - T_4$ e $T_s - T_5$ é uma aproximação linear de primeira ordem

$$T_s - T_5 = a (T_s - T_4) + b \quad (3.12)$$

Tem-se um simples algoritmo LST

$$T_s = T_4 + \frac{1}{a-1}(T_4 - T_5) - \frac{b}{a-1} \quad (3.13)$$

Esta é a forma similar do algoritmo da janela dividida SST [McClain et al., 1985]

$$T_s = 1,0346 T_4 + 2,5779 (T_4 - T_5) - 10,05 \quad (3.14)$$

É uma característica comum na superfície terrestre do planeta a existência de variações espaciais significativas da temperatura e da emissividade da superfície na escala de poucos quilômetros, pois existem vários tipos de cobertura do solo em um único pixel de 1 km no MODIS. A aproximação de primeira ordem do método no LST MODIS para lidar com este problema de pixel misto é determinar a emissividade média e a temperatura radiométrica eficaz da superfície ao nível do pixel misto. Simulações numéricas mostram que a emissividade média da banda e uma temperatura radiométrica efetiva simples pode ser usada para expressar a radiância nas bandas 31 e 32 do MODIS, sem qualquer erro significativo para os pixels mistos devido à pequena diferença entre estes comprimentos de onda das duas bandas. A diferença entre as temperaturas eficazes radiométricas em diferentes bandas aumenta com a diferença de comprimento de onda da banda.

As medidas de emissividades das bandas 31(10,78 a 11,28 μm) e 32(11,77 a 12,27 μm) são obtidas com base em uma classificação, na qual o pixel da imagem é identificado com 14 classes de uso da terra pré-definidas e com os valores correspondentes de emissividade (Snyder et al., 1998). A partir do conhecimento a priori da emissividade, o algoritmo “*generalized split-window*” realiza a correção atmosférica baseado na absorção diferencial entre as duas bandas termais (31 e 32) do MODIS (LIANG, 2004). Segundo Wan & Dozier (1996) a estimativa da temperatura de superfície através do algoritmo *generalized split-window* do sensor MODIS é dada por:

$$T_s = \left(A_1 + A_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + A_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_{31} + T_{32}}{2} + \left(B_1 + B_2 \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + B_3 \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2} \right) (T_{31} - T_{32}) + C, \quad (3.15)$$

onde T_{31} e T_{32} são as temperaturas de brilho nas banda 31 e 32 do MODIS; $\varepsilon = 0,5 (\varepsilon_{31} + \varepsilon_{32})$ e $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{31} - \varepsilon_{32}$ são as emissividades da superfície nas bandas 31 e 32 do MODIS; C, A1, A2, A3, B1, B2, B3 são os coeficientes de regressão. Esta estimativa é uma equação de regressão que utiliza a temperatura de brilho dos canais do infravermelho termal para calcular a temperatura de superfície. Os coeficientes de regressão são derivados usando um modelo de transferência radiativa com características atmosféricas obtidas a partir de dados originados de 12 perfis globais de temperatura atmosférica (Wan & Dozier, 1996).

A análise de erro mostra que o ângulo de visada e a coluna de vapor d'água da atmosfera deve ser considerada no algoritmo LST a fim de alcançar a precisão de 1K sobre as condições atmosféricas e de superfície, exceto em regiões secas e muito fria. Os coeficientes idéias no algoritmo em (3.15) são obtidos das seguintes maneiras:

- 1) Os perfis de temperatura atmosférica são separados em grupos de acordo com a temperatura de superfície do ar, por exemplo: $T_{ar} \leq 280K$ ou $> 280K$, sendo que atmosfera de inverno seco são incluídas no primeiro grupo e atmosfera de verão quente são incluídas no segundo grupo;
- 2) A coluna de vapor d'água atmosférica é separada em intervalos de 0,5 cm;
- 3) As condições de temperatura de superfície da terra são separadas em dois grupos de acordo com: $T_{ar} - 16K \leq T_s \leq T_{ar} + 4K$ ou $T_{ar} - 4K \leq T_s \leq T_{ar} + 16K$, o primeiro grupo representando as condições noturnas e o segundo grupo as condições diurnas;
- 4) As emissividades nas bandas são especificadas por $0.89 \leq \varepsilon \leq 1$ em intervalos de 0,01 e por $0.025 \leq \Delta\varepsilon \leq 0.015$ em intervalos de 0,005;
- 5) 9 ângulos de visada são selecionados para cobrir a superfície de visualização do MODIS e ângulo de $65,5^\circ$ no nadir.

Em suma, os coeficientes nos algoritmos diurno e noturno serão determinados por análise de regressão separados de dados simulados em cada grupo de temperatura do ar, em cada coluna de vapor d'água e nos 9 ângulos de visada. A temperatura de superfície do ar e a coluna de vapor d'água são dadas pelo perfis atmosféricos do produto MODIS. O erro rms no resultado do LST é menor do que 1K e o erro máximo é inferior a 3K, exceto nas bordas de varredura (ângulo de visada da superfície $> 55^{\circ}$) quando a coluna de vapor d'água é maior do que 4 cm. Estes erros podem ser reduzidos pela otimização do algoritmo em vários subintervalos mais estreitos da temperatura de superfície do ar e pelo uso de iterações.

Um bom algoritmos LST deve ter as seguintes características: 1) adquirir LST com mais acurácia; 2) ser menos sensível às incertezas do nosso conhecimento da emissividade de superfície e das propriedades atmosféricas e, ao ruído do instrumento. De acordo com a equação (3.15), os termos dos fatores de emissividade $(1 - \epsilon)/\epsilon$ e $\Delta\epsilon / \epsilon^2$ são

$$\alpha = A_2 \frac{T_4 + T_5}{2} + B_2 \frac{T_4 - T_5}{2}, \quad (3.16)$$

e

$$B = A_3 \frac{T_4 + T_5}{2} + B \frac{T_4 - T_5}{2} \quad (3.17)$$

3.4 CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS FRONTAIS

Sistema Frontal é uma superfície que separa duas massas de ar de características diferentes, principalmente em temperatura e umidade (densidades diferentes). Um sistema frontal clássico é composto por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone, Figura 5.

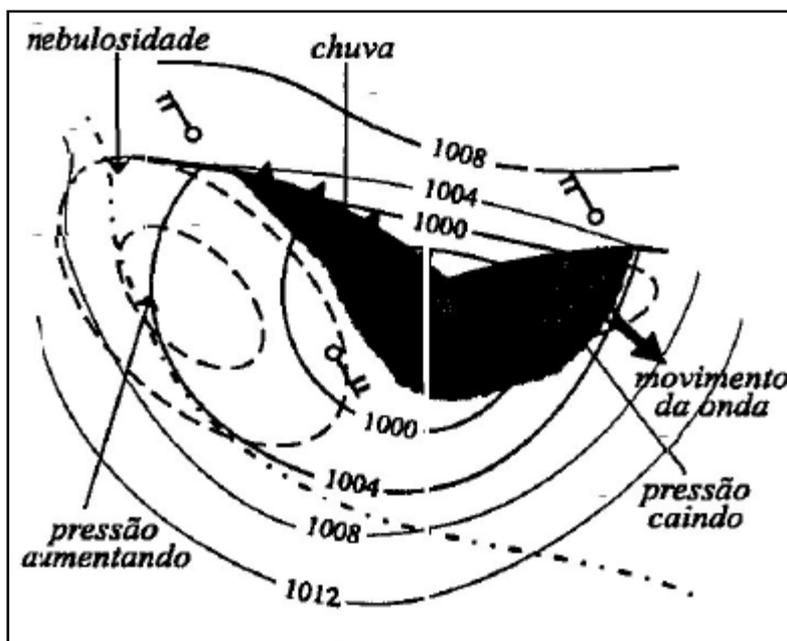


Figura 5-Esquema de um sistema frontal.

FONTE: Oliveira et al. (2001, p. 273).

De acordo com o modelo clássico da Escola Norueguesa, as frentes podem ser classificadas como frente fria, quente, estacionária e oclusa.

Em uma frente fria o ar frio desloca o ar quente e úmido na superfície, que sofre ascensão e origina nuvens com grande desenvolvimento vertical e conseqüentemente ocasiona precipitação adiante da frente. As frentes frias podem se deslocar rapidamente ou lentamente, e as que se deslocam mais rápido são mais inclinadas, isto é, maior o ângulo entre a superfície frontal e a superfície da Terra (Vianello, 1991). A inclinação, ou seja, a relação entre a ascensão vertical e o deslocamento horizontal, de uma frente fria rápida é 1:40 a 1:80 e para as de deslocamento lento a inclinação é de 1:100. Antes da chegada de uma frente fria é notada sensível redução na pressão, aumento da temperatura e intensificação dos ventos. Após a passagem da frente, a pressão sobe rapidamente, a temperatura cai e o vento muda de direção (normalmente de sudoeste para noroeste no Hemisfério Norte, e de norte ou nordeste para de sul ou de sudoeste no Hemisfério Sul) (Vianello, 1991; Fedorova, 1999; Oliveira et al., 2001).

Na frente quente o ar quente substitui o ar frio. Normalmente a precipitação é contínua e considerada de leve a moderada, no caso do ar ser estável, mas no caso de ar instável, as chuvas tornam-se intensas, com trovoadas e aguaceiros. A aproximação de uma frente quente é caracterizada

por pequena ou nenhuma queda da pressão atmosférica. Após a passagem da frente, a pressão e a temperatura podem elevar-se ligeiramente (Vianello, 1991; Fedorova, 1999; Oliveira et al., 2001).

Quando não há nenhum ou pouco avanço das massas de ar, a frente é dita estacionária. Em uma frente estacionária o movimento do ar não se dirige para a massa de ar quente ou frio, mas paralelo à linha da frente. A precipitação associada é geralmente leve e estratiforme, mas pode se tornar bem significativa se permanecer estacionária por muito tempo. (Oliveira et al., 2001).

Uma frente oclusa ocorre quando o setor frio de uma frente, que normalmente move-se mais rápido, alcança o setor quente, e o ar quente é forçado a subir, afastando-se do solo. Há dois tipos de frentes oclusas: fria e quente. Na oclusão tipo quente, o ar frio adiante da frente quente é mais frio que o ar atrás da frente fria, fazendo com este seja forçado a subir. Na frente oclusa fria, o ar é mais frio atrás da frente fria que aquele que está adiante da frente quente, portanto, neste caso, é o ar quente que é forçado a subir. Em ambas as frentes, a nebulosidade e a precipitação acontecem nos dois lados da frente. À medida que a oclusão evolui, a nebulosidade e precipitação diminuem de intensidade. (Vianello, 1991; Oliveira et al., 2001).

A idéia que se tinha sobre a estrutura frontal com modelos frontais da Escola Norueguesa dominaram por mais de meio século. Com o propósito de melhorar esses modelos, Harrold (1973) introduziu o conceito de esteira transportadora quente, que é em termos gerais uma corrente de ar bem definida, com alta temperatura potencial, úmida e escoando ao longo do comprimento da frente fria. A esteira transportadora quente transporta uma grande quantidade de calor, umidade e momento de oeste para os pólos e para cima. O ar na esteira transportadora quente flui ao longo da frente fria, freqüentemente na forma de um jato em baixos níveis na camada limite na dianteira da frente fria em superfície (Browning, 1985, Carlson, 1991). O conceito de esteira transportadora foi utilizado por Ryan e et al. (1985) e Browning (1985) para explicar sistemas frontais na Austrália e no Reino Unido, respectivamente.

3.4.1 CLIMA REGIONAL

O clima da região costeira, entre as latitudes de 29° e 34°S, está sob o controle do centro de alta pressão do anticiclone do Atlântico Sul (Monteiro 1968; Nobre et al. 1986). A migração latitudinal

do centro de alta pressão e a passagem de sistemas frontais polares (Figura 6), em intervalos de 6 a 10 dias (Hartmann et al. 1986; Stech 1990), modificam e influenciam o ciclo sazonal do clima (Kousky e Ferreira 1981; Fortune e Kousky 1983; Paz 1985; Vieira e Rangel 1988; Gan 1992).

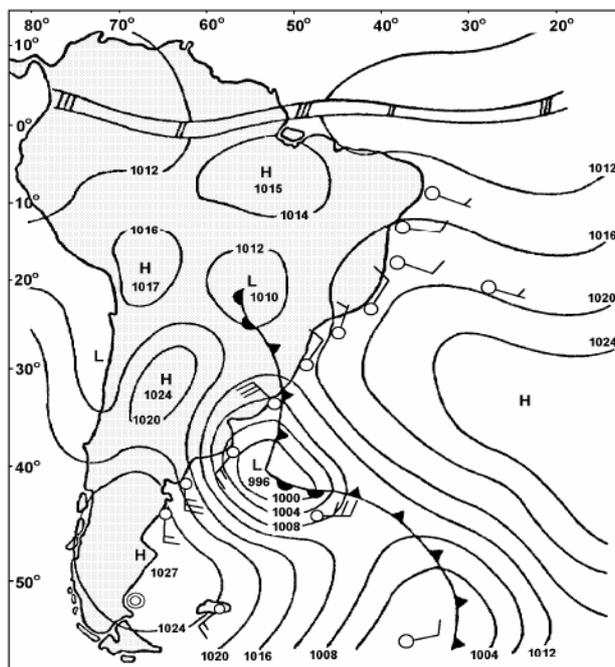


Figura 6 - Carta de pressão barométrica evidenciando a aproximação de um sistema frontal polar, onde H = Alta pressão e L = Baixa pressão

A proximidade da Convergência Subtropical e a influência estabilizadora do extenso sistema lagunar Patos-Mirim imprimem uma característica temperada-quente à região costeira e marinha (Semenov e Berman 1977) e, de acordo com o padrão de distribuição da flora (Coutinho e Seeliger 1986; Cordazzo e Seeliger 1987) e da fauna (Semenov 1978) a área é classificada como uma zona de transição biogeográfica temperada-quente. A marcada influência do anticiclone do Oceano Atlântico Sul resulta na dominância de ventos NE (velocidade média de 5 m s^{-1}) ao longo do ano, seguida por ventos SW (velocidade média de 8 m s^{-1}) durante a passagem de frentes frias (Stech e Lorenzetti 1992), as quais são mais comuns no inverno do que no verão (Delaney 1965; Godolphin 1976; Zeltzer 1976; Tomazelli 1993). A região está sujeita a uma média de 223 dias ensolarados por ano e 404 cal cm^{-2} de radiação solar média diária, com a radiação média mensal de $603 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em dezembro e $213 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em junho. O regime de temperatura regional é função da estação do ano e do número e intensidade de passagem das frentes polares (Nobre et al. 1986). A temperatura média anual varia entre 19°C e 17°C no norte e no sul da região, respectivamente, e as médias

mensais mais baixas e mais altas variam entre 13°C e 24°C em julho e janeiro, respectivamente. Durante o inverno, algumas passagens de frentes frias podem causar geadas nas primeiras horas da manhã em dias limpos e secos (Fortune e Kousky 1983; Nobre et al. 1986). A precipitação pluviométrica média anual (1200-1500 mm) varia marcadamente a cada ano e está relacionada, principalmente, ao padrão e frequência da passagem de frentes frias. A precipitação média mensal é maior durante o inverno e a primavera (junho a outubro), mas um pico secundário pode ocorrer no verão (Castello e Möller 1978), quando a precipitação diária ocasionalmente ultrapassa 100 mm. Os meses de verão estão associados com um déficit sazonal de água, embora a precipitação pluviométrica e a evaporação resultem em um excesso médio anual de água de 200-300 mm. No Atlântico Sudoeste, as variações interanuais na precipitação pluviométrica, com períodos de chuvas intensas ou secas prolongadas, parecem ser consequência dos efeitos do ciclo El Niño-Oscilação Sul sobre o clima global (Nobre et al. 1986; Gan 1992), mas os processos envolvidos ainda não são bem entendidos. Este fenômeno influencia diretamente a quantidade de descarga de água doce continental e, conseqüentemente, os processos biogeoquímicos nos ecossistemas costeiros e marinhos do Atlântico Sudoeste (Ciotti et al. 1995).

3.5 TEMPERATURA NA ÁGUA

Temperatura é a medição da intensidade de calor, tendo como origem natural, a transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo). Elevações da temperatura podem ser influenciadas por :

1. Aumento da taxa de reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura).
2. Diminuição da solubilidade dos gases como por exemplo o oxigênio dissolvido.
3. Aumento da taxa de transferência de gases (o que pode causar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis).

Observações da temperatura da água a diferentes profundidades são requisitadas em estações oceânicas e lacustres. Dados dessa natureza são relativamente raros, dificultando muitas pesquisas em tais ecossistemas. Em termos de corpos d'água, a temperatura deve ser analisada em conjunto com outros parâmetros (Von Sperling, 1999; Dantas, 2000).

O perfil vertical de temperatura em lagos e reservatórios varia com as estações do ano. Esta variação de temperatura afeta a densidade da água e, em decorrência, a capacidade de mistura e estratificação do corpo água. Durante os períodos quentes, a temperatura da camada superficial é bem mais elevada que a temperatura do fundo, devido à radiação solar. Devido a este fato, a densidade da água superficial torna-se inferior à densidade da camada do fundo, fazendo com que haja camadas distintas no corpo d'água: Epilímnio é a camada superior, mais quente, menos densa, com maior circulação; Termoclina é a camada de transição; Hipoclímnio é a camada inferior, mais fria, mais densa, com maior estagnação.

A diferença de densidades pode ser tal, que cause uma completa estratificação no corpo d'água, com três camadas não se misturando entre si. Esta estratificação tem grande influência na qualidade da água (Von Sperling, 1999; Dantas, 2000). Dependendo do grau de trofia do corpo d'água, poderá haver uma ausência completa de oxigênio dissolvido no hipolímnio. Em decorrência, nesta camada tem-se a predominância de compostos reduzidos de ferro, manganês e outros.

Com a chegada do período frio, há um resfriamento da camada superficial do lago, causando certa homogeneização na temperatura ao longo de toda a profundidade. Com a homogeneização da temperatura, tem-se também uma maior similaridade entre as densidades. A camada superior, subitamente resfriada, tende a ir para o fundo do lago, deslocando a camada inferior, e causando um completo revolvimento do lago. A este fenômeno dá-se o nome de inversão térmica. Em lagos que apresentam uma maior concentração de compostos reduzidos no hipolímnio, a reintrodução destes na massa d'água de todo o lago pode causar uma grande deterioração na qualidade da água. A redução da concentração de oxigênio dissolvido, devido a demanda introduzida pelos compostos orgânicos e inorgânicos reduzidos, bem como a ressuspensão da camada anaeróbica do fundo, pode causar a mortandade de peixes.

Lagos e reservatórios podem apresentar diferentes padrões e frequências de mistura (Von Sperling, 1999; Dantas, 2000):

1. Lagos Holomícticos - Circulação completa em toda a coluna d'água. Dependendo do número de circulações por ano, podem ser classificados como:

- Monomíticos - uma circulação por ano - Normalmente localizados onde há claras variações sazonais. Dois tipo: - Monomíticos quentes - uma circulação no inverno. Localizados em regiões temperadas, regiões subtropicais de elevada altitude e regiões tropicais. – Monomíticos frios - uma circulação no verão. Localizados em regiões subpolares e de elevada altitude em climas temperados.
 - Dimíticos – duas circulações por ano, uma na primavera e uma outra no outono. Localizados em clima temperado. Meses quentes: estratificação; outono; resfriamento da camada superficial e mistura. Meses frios: cobertura por gelo; derretimento do gelo na primavera; mistura induzida pelo vento.
 - Oligomíticos – Poucas circulações por ano. Usualmente lagos profundos nos trópicos úmidos, onde há pouca variação sazonal. Água quente ao longo da coluna d'água.
 - Polimíticos – Várias circulações por ano. Usualmente lagos rasos com circulações diárias, desprotegidos da ação do vento, e localizados em regiões quentes. Possui influência das variações diurnas de temperatura. Horas do dia: estratificação. Horas da noite: resfriamento da camada superficial e mistura.
2. Lagos Meromíticos – A circulação não ocorre em toda a coluna d'água. Camada inferior: estagnada devido à alta concentração de substâncias dissolvidas. Pouca influência da temperatura.
3. Lagos Amíticos – Sem circulação. Usualmente cobertos com gelo em altitudes bastante elevadas.

Em regiões quentes, os padrões de mistura prevalentes são o *monomítico quente ou polimítico*. As variáveis que mais influenciam o padrão de mistura são aquelas relacionadas com a profundidade (profundidade média, profundidade máxima, profundidade relativa (Von Sperling, 2002)).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo são referentes ao período considerado de dezembro de 2005 e inverno (maio, julho e agosto de 2005), (junho, julho e agosto de 2006). Estes fazem parte das medidas de temperatura da superfície terrestre do sensor MODIS, produto MOD11 (Temperatura de Superfície da Terra e Emissividade), e dos dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional de Santa Vitória do Palmar, RS.

4.1 DADOS ORBITAIS DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

Foram adquiridas imagens diárias diurnas do período estudado através do endereço eletrônico <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>. As imagens em formato HDF fornecidas pelo sensor MODIS foram reamostradas para o formato TIF e registradas através do programa computacional MRTTool fornecido pela NASA. Adotou-se o Datum WGS-84, projeção UTM, zona 22 Sul. As imagens escolhidas representam dias de céu claro, pois quando há ocorrência de nuvens não é possível aquisição da medida de temperatura de superfície pelo produto MOD11 do sensor MODIS. A partir das imagens selecionadas do período, foram escolhidas cenas anteriores e posteriores à passagem de um SF.

As medidas da temperatura superficial da lagoa Mangueira obtidas pelo produto MOD11 foram convertidas para graus Celsius através do cálculo: $T^{\circ}\text{C} = (\text{Pix} * 0,02) - 273$, no qual, $T^{\circ}\text{C}$ é o valor do pixel em graus Celsius, Pix é o valor original do pixel em graus Kelvin e 0,02 é a constante do fator de multiplicação para imagem diurna do produto MOD11. Para a observação da variação de temperatura na lagoa Mangueira foi traçado um perfil longitudinal (PL) e uma máscara da área total da superfície da lagoa (Figura 7). O PL foi traçado na direção Sul-Norte (SN) e a máscara foi traçada a partir dos limites que separam a água da lagoa e a terra firme. O posicionamento de PL na imagem da Figura 7 é mostrado na Tabela 6.

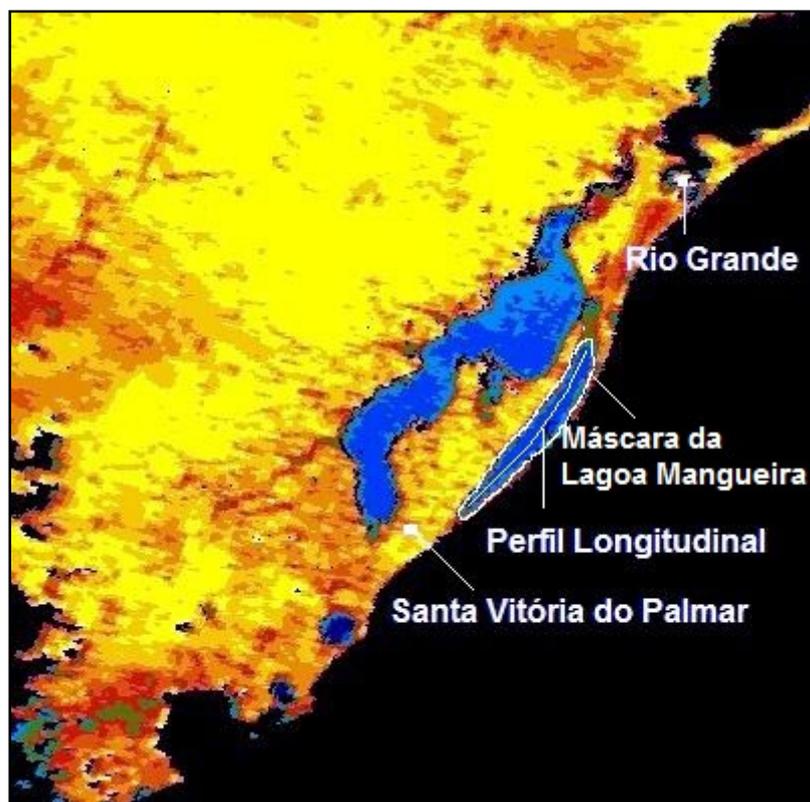


Figura 7 - Imagem MODIS mostrando o perfil longitudinal traçado e a delimitação da máscara da Lagoa Mangueira.

Tabela 6 - Posicionamento dos pontos do PL de temperatura de superfície traçado na lagoa Mangueira.

PL	Ponto Inicial		Posição Final	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
	33°30'40.25"S	53°6'41.20"W	32°35'10.46"S	52°31'39.88"W

4.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados meteorológicos da área de estudo foram extraídos da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional localizada em Santa Vitória do Palmar (33°31'58.00''S; 53°20'58.56''O), RS, que coleta medidas diárias de variáveis climáticas. Neste estudo considera-se a velocidade do vento (m/s), a sua direção e a Temperatura Ambiente, TA(°C). Estas variáveis são coletadas em três horários distintos, 12h, 18h e 24h. Devido a homogeneidade e a topografia da região, as medidas na estação meteorológica são representativas do campo de vento da lagoa

Mangueira. Durante o período de dezembro foram selecionados quatro sistemas frontais frios que passaram no sul no Brasil. Para os dois períodos de inverno foram selecionados nove sistemas frontais, 3 referentes à 2005 e 6 referentes à 2006. O mês de dezembro na região sul do Brasil é caracterizado por dias claros, com pouca nebulosidade, o que motivou a escolha das frentes frias durante este período e considerou-se como um mês de verão para este estudo. Os meses de inverno no RS são caracterizados por dias encobertos na maior parte do período, com muita nebulosidade, o que dificultou a seleção das imagens na passagem dos sistemas frontais. As rotas das frentes frias que chegam ao Estado do RS, são mostradas na Figura 8.

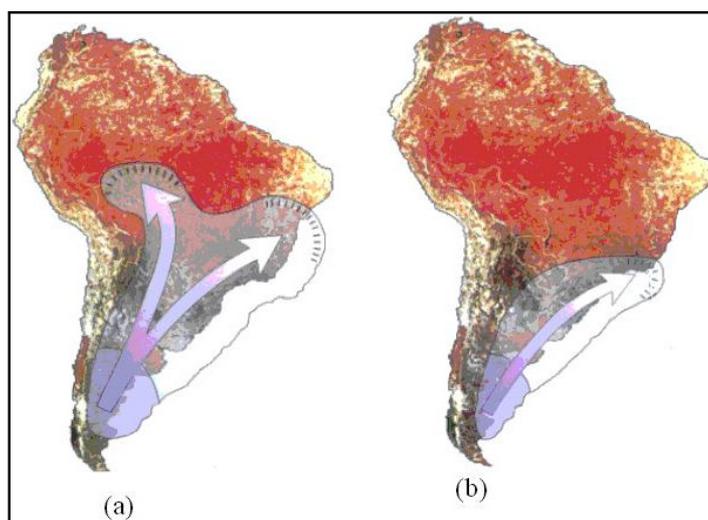


Figura 8 – Rotas de atuação das frentes frias no inverno (a) e verão (b).

Fonte: Atlas Ambiental de Porto Alegre, 1998.

Em função da direção das rotas criou-se o PL de Temperatura de Superfície da Lagoa (TSL) nas imagens MODIS. As Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15 mostram o deslocamento das frentes frias que passaram pelo sul do Brasil para o período estudado.

A Figura 9 apresenta os seis sistemas frontais que atuaram no Brasil. No dia 02, a primeira frente fria do mês ingressou no sul do Brasil, avançando tanto pelo litoral como pelo interior das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A passagem deste sistema frontal, organizou áreas de instabilidade em quase todo o Brasil. . No período de 01 a 03, continuou atuando a massa de ar frio que se encontrava no Rio Grande do Sul no final do mês anterior (novembro/2005). No dia 06, a incursão de um anticiclone pelo oeste dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina causou queda de temperatura em algumas localidades. No dia seguinte, dia 7, o anticiclone posicionou-se no litoral da Região Sul. O segundo sistema frontal ingressou pelo Rio Grande do Sul no dia 09. Pelo

interior, deslocou-se até Cuiabá-MT. Este sistema frontal permaneceu semi-estacionário no período de 11 a 15 no interior das Regiões Sudeste e Centro-Oeste e no litoral dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, caracterizando o primeiro episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) . O terceiro e quarto sistemas deslocaram-se, entre os dias 17 e 19 de dezembro, até o Rio de Janeiro, onde enfraqueceram. No dia 23, o quinto sistema frontal ingressou em Rio Grande-RS, deslocando-se, pelo interior, até Cuiabá-MT e Pirapora-MG, e, pelo litoral, até Vitória-ES, onde permaneceu estacionário entre os dias 26 e 28. No dia 29, o sexto e último sistema frontal ingressou pelo oeste do Rio Grande do Sul. Esta frente fria permaneceu semi-estacionária, atuando no litoral do Rio Grande-RS no dia 31, causando chuvas significativas, superiores a 35 mm, em Uruguaiana-RS (Climanálise, dez/2005).

Em maio de 2005, sete sistemas frontais atuaram no País (Figura 10). Este número ficou acima da média climatológica que é de seis sistemas para latitudes entre 30°S e 25°S. No dia 05 de maio, o primeiro sistema frontal ingressou em Santa Vitória do Palmar, no sul do País. Este sistema deslocou-se pelo interior da Região Sul e pelo litoral de Iguape-SP. Chuvas moderadas foram registradas no Rio Grande do Sul (Santa Vitória do Palmar: 69 mm, no dia 06; e Santa Maria: 31 mm, no dia 07). O segundo sistema frontal atuou na fronteira do Uruguai com o Brasil, no dia 11, deslocando-se até Porto Alegre-RS, no dia 12. No período de 15 a 18, o terceiro sistema frontal atuou entre o litoral da Região Sul e o sul do Estado de São Paulo. Este sistema causou chuvas de intensidade fraca a moderada. Em Foz do Iguaçu-PR, registrou-se 51 mm de chuva no dia 17. Um novo sistema frontal deslocou-se pelo oceano, interagindo, no dia 19, com o sistema frontal que se encontrava em Iguape-SP no dia anterior. Esta frente fria, a quarta do mês, deslocou-se até o Rio de Janeiro, onde enfraqueceu. A quinta frente fria atuou pelo interior do Rio Grande do Sul, deslocando-se até Pirapora- MG e Campo Grande-MS, entre os dias 20 e 24. RS (Climanálise, mai/2005).

Cinco sistemas frontais atuaram no mês de julho de 2005 (Figura 11), ficando este número abaixo da média climatológica que é de sete sistemas para latitudes entre 35°S e 25°S. Ocorreram duas ciclogêneses que causaram ventos intensos, ressaca e danos humanos e materiais. A primeira frente fria ingressou no sul do Rio Grande do Sul no dia 03, atuando tanto pelo interior como pelo litoral das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Esta frente fria também atingiu o centro-sul da Região Norte. No dia 08, este sistema frontal encontrava-se no litoral de Salvador-BA. O segundo sistema frontal encontrava-se em Florianópolis-SC no dia 12. Esta frente fria foi para o oceano no dia seguinte. No dia 16, a terceira frente fria esteve associada a um sistema de baixa pressão em superfície na altura do litoral sul do Rio Grande do Sul. Este sistema frontal atuou pelo interior de

quase todas as Regiões do País, e pelo litoral, desde o Rio Grande do Sul até a Bahia. No dia 21, a frente deslocou-se para o oceano. A quarta frente fria, dia 22, deslocou-se, pelo interior, até as Regiões Sudeste e Centro-Oeste. Pelo litoral, atuou desde o Rio Grande do Sul até o Rio de Janeiro, no dia 26. No dia 27, encontrava-se sobre o oceano, próximo ao litoral sul da Bahia. No dia 28, o quinto sistema frontal encontrava-se no litoral de São Paulo. Este sistema estava associado a uma baixa pressão sobre o oceano. No dia seguinte, este sistema deslocou-se somente até o litoral de Ubatuba- SP, indo posteriormente, para o oceano. (Climanálise, Julho/2005).

Em agosto de 2005, seis sistemas frontais atuaram no País (Figura 12). O primeiro sistema frontal ingressou pelo extremo sul do Rio Grande do Sul no dia 01, deslocando-se para o oceano no dia seguinte. No dia 06, o segundo sistema frontal do mês ingressou pelo interior do Rio Grande do Sul, Bolívia e Paraguai. Esta frente fria teve um rápido deslocamento, posicionando-se sobre o litoral da Região Sudeste no dia 07, permanecendo semi-estacionária em Ubatuba-SP entre os dias 08 e 09. O terceiro sistema frontal atuou sobre o sul no dia 15. No dia seguinte, a frente fria encontrava-se no oceano. No dia 17, o quarto sistema frontal teve um deslocamento pelo interior da Região Sul, até Foz do Iguaçu-PR. Pelo litoral, esta frente avançou rapidamente desde o sul do RS até o litoral de Ubatuba-SP, deslocando-se até o litoral de Cabo Frio-RJ no dia 20. O quinto sistema frontal, no dia 23, originou-se de uma ciclogênese que se configurou entre o Paraguai, Argentina, Uruguai e sul do Brasil. No dia seguinte, o sistema frontal posicionou-se sobre o litoral de Iguape-SP, deslocando-se até Campos-RJ. Pelo interior, esta frente atuou no norte de Minas Gerais e no Mato Grosso. Nos dias 28 e 29, a sexta frente fria permaneceu semi-estacionária no Rio Grande do Sul, deslocando-se até o litoral de Santos-SP no dia 31. Pelo interior, deslocou-se até Presidente Prudente-SP e Guaira-PR. (Climanálise, agosto/2005).

Em junho de 2006, seis sistemas frontais atuaram no Brasil - sendo o primeiro a continuação do último sistema frontal que atuou no final do mês anterior (Figura 13). No dia 04, o primeiro sistema frontal atuou tanto pelo litoral como pelo interior do Rio Grande do Sul. Pelo litoral, esta frente fria deslocou-se até o Rio de Janeiro-RJ, no dia 06, causando aumento da nebulosidade e chuvas fracas. O segundo sistema frontal ingressou pelo sul do País, no dia 09, deslocando-se até Vitória-ES, no dia 12. Durante sua trajetória, esta frente fria causou ventos fortes e chuvas de intensidade moderada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O terceiro e quarto sistemas frontais ingressaram pelo litoral do Rio Grande do Sul nos dias 14 e 20, respectivamente, deslocando-se até o litoral de São Paulo. O quarto sistema frontal causou chuvas mais intensas, com descargas elétricas e rajadas de vento no norte do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina no dia 20. O quinto e

último sistema frontal originou-se de uma ciclogênese que se formou sobre o Rio Grande do Sul no dia 25. Foram registradas rajadas de vento de até 54 km/h em Santa Maria-RS e chuvas superiores a 40 mm no centro-oeste do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O sistema frontal associado iniciou sua trajetória no Rio Grande do Sul, durante a madrugada do dia 26, e avançou até o litoral da Bahia, no dia 29 (Climanálise, junho/2006)

A presença de uma situação de bloqueio atmosférico no Oceano Pacífico impediu o avanço de maior número de sistemas frontais sobre o Brasil (Figura 14). Em julho de 2006, são esperados sete sistemas frontais entre as latitudes 25°S e 35°S. Apenas 5 atuaram na região sul. O primeiro sistema frontal do mês de julho iniciou sua trajetória na Argentina, chegando em Santa Vitória do Palmar no dia 08. Pelo litoral, esta frente fria deslocou-se até o Rio de Janeiro-RJ, atuando apenas no interior do Paraná. No dia 13, o segundo sistema frontal ingressou pelo sul do País, deslocando-se até o litoral da Região Sudeste. A terceira frente fria também iniciou na Argentina e avançou pelo sul do Brasil, atuando apenas no litoral e interior da Região Sul. O quarto sistema frontal restringiu sua atuação ao litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, entre os dias 23 e 24, com ocorrência de chuvas. Neste período, houve a intensificação do jato subtropical, em 200 hPa, que resultou no aumento de áreas de instabilidade no interior do Rio Grande do Sul e no sudeste de Santa Catarina entre os dias 25 e 26. Dos cinco sistemas frontais que se deslocaram pelo litoral brasileiro, apenas o último conseguiu atingir o Nordeste. A formação deste sistema frontal esteve associada à ciclogênese que se configurou próximo à Bahia Blanca, Argentina, no dia 27. A passagem desta frente fria causou temporais em algumas localidades de Santa Catarina, registrando-se queda de granizo e ventos fortes no dia 28. Este sistema frontal deslocou-se rapidamente entre o litoral de Porto Alegre-RS e Cabo Frio-RJ, nos dias 28 e 29. Pelo litoral, avançou até Caravelas-BA. Esta frente fria proporcionou ocorrência de chuva, granizo e ventos fortes nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, além de acentuada queda de temperatura associada à entrada do anticiclone pós-frontal. (Climanálise, julho/2006).

Os sete sistemas frontais que atuaram no Brasil estiveram dentro da climatologia para latitudes entre 25°S e 35°S (Figura 15). O primeiro sistema frontal, vindo da Argentina chegou em Santa Vitória do Palmar entre os dias 05 e 06 e atuou apenas no litoral e interior do Rio Grande do Sul. O segundo sistema frontal posicionou-se no litoral sul do Rio Grande do Sul no dia 08. No dia seguinte, devido à intensa atividade do jato em baixos níveis, 850 hPa, o sistema recuou para o Uruguai. Houve ocorrência de chuva forte e rajadas de vento no Rio Grande do Sul. No dia 09, registraram-se rajadas de ventos nos aeroportos de Santa Maria-RS (74,1 km/h) e Porto Alegre-RS

(83,3 km/h). No dia 10, este sistema continuou sua trajetória pelo litoral e interior da Região Sul, posicionando-se, no dia seguinte, sobre o oceano, na região sudeste. A atuação do jato em baixos níveis ainda foi notada entre os dias 11 e 12, quando houve formação de áreas de instabilidade no Rio Grande do Sul. No município de Rio Grande-RS, registrou-se chuva acumulada igual a 69,5 mm no dia 12 (Fonte: INMET). No dia 13, a terceira frente fria formou-se entre o Uruguai e o sul do Brasil, posicionando-se sobre o oceano no dia 14. Registrou-se 55,5 mm de chuva em Santa Vitória do Palmar-RS e rajadas de vento em Santa Maria-RS. Neste mesmo dia, formou-se uma baixa pressão sobre o Uruguai que deu origem a um novo sistema frontal - o quarto do mês. Esta nova frente fria deslocou-se pelo interior e litoral das Regiões Sul e Sudeste, posicionando-se em Santos-SP no dia 18. Durante sua trajetória, causou chuvas significativas no norte do Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. O quinto sistema frontal também se configurou a partir de uma baixa pressão que se formou sobre o oceano, próximo ao Rio Grande do Sul, na tarde do dia 18. A frente fria associada deslocou-se somente pelo litoral, desde Santa Catarina até o Rio de Janeiro, no dia 20. No dia 20, outro sistema frontal originava-se no litoral da Argentina e Uruguai. Este sexto sistema frontal, que se deslocou rapidamente pelo interior e litoral do Brasil, avançou até Caravelas-BA e causou poucas chuvas, porém o anticiclone associado proporcionou acentuado declínio de temperatura em várias localidades brasileiras. Ressalta-se que estes sistemas frontais uniram-se sobre áreas oceânicas adjacentes à costa leste brasileira, entre os dias 21 e 22. No dia 26, a configuração de outro centro de baixa pressão sobre o oeste do Rio Grande do Sul, no Brasil, e sobre o Uruguai deu origem ao sétimo e último sistema frontal do mês. Este sistema frontal chega em Santa Vitória do Palmar no dia 27. Este sistema frontal iniciou sua trajetória pelo litoral da Argentina, posicionando-se em Torres-RS no dia 27. Pelo litoral, esta frente deslocou-se até Ilhéus-BA, posicionando-se sobre o oceano no dia 31. Durante a sua formação, intensificaram-se áreas de instabilidade até o litoral da Bahia. (Climanálise, agosto/2006).

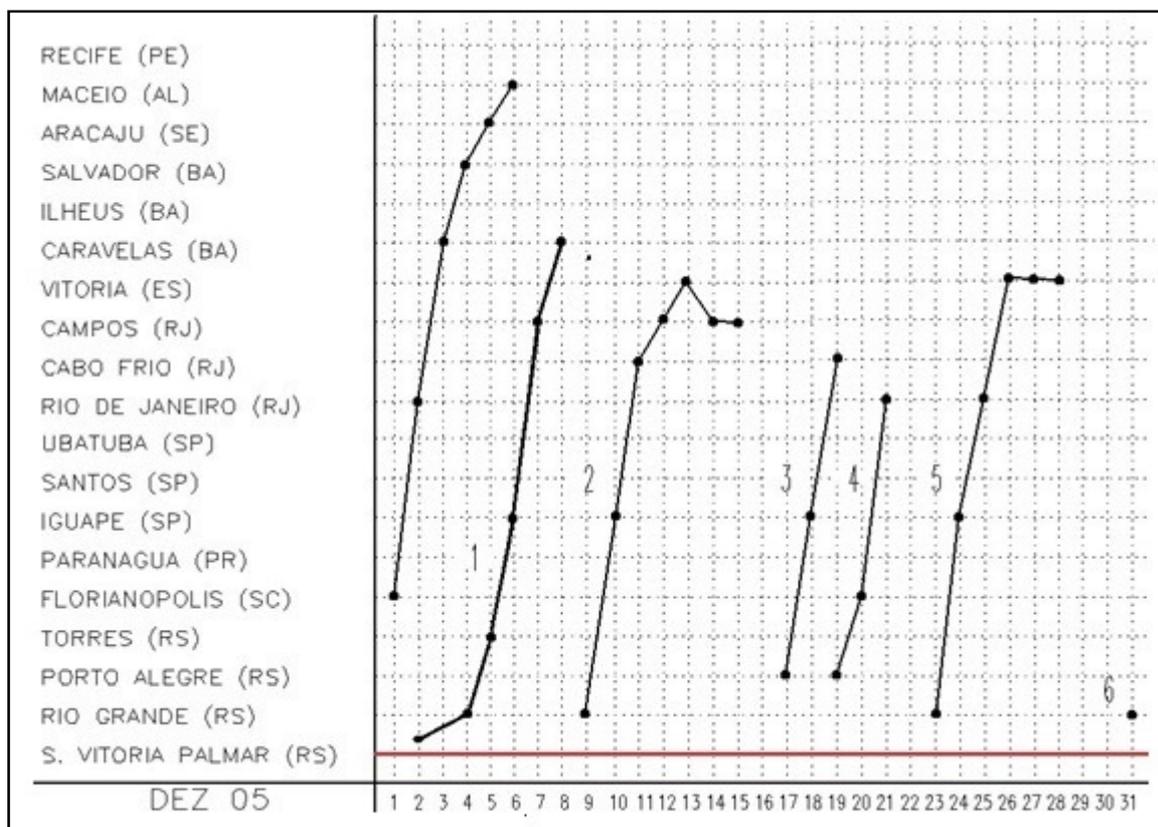


Figura 9 – Sistemas frontais do mês de dezembro de 2005.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/0505/index.html>

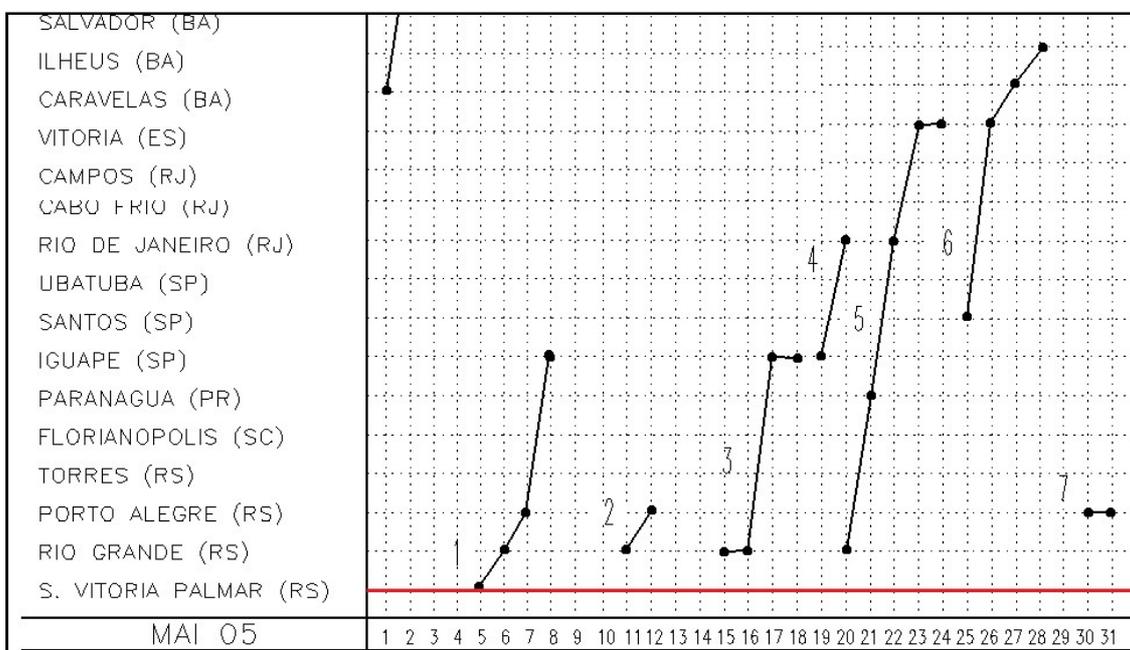


Figura 10 – Sistemas frontais do mês de maio de 2005.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/0505/index.html>

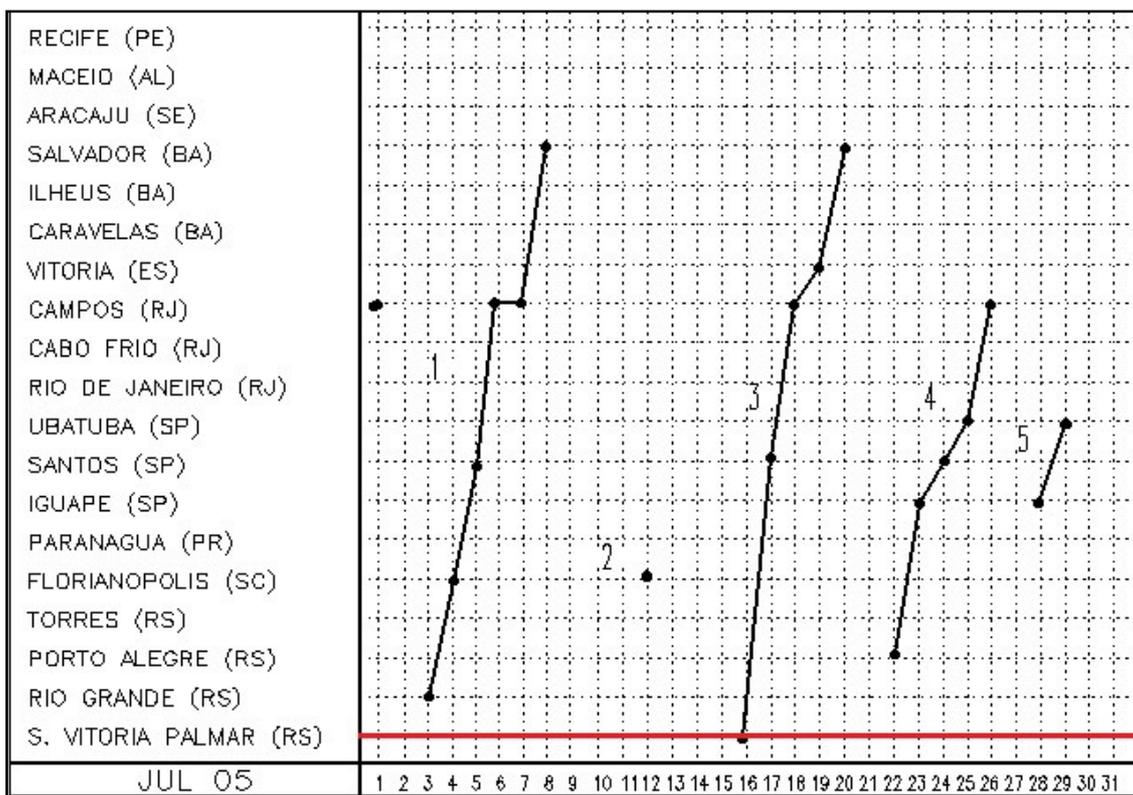


Figura 11 – Sistemas frontais do mês de julho de 2005.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0505/index.html>

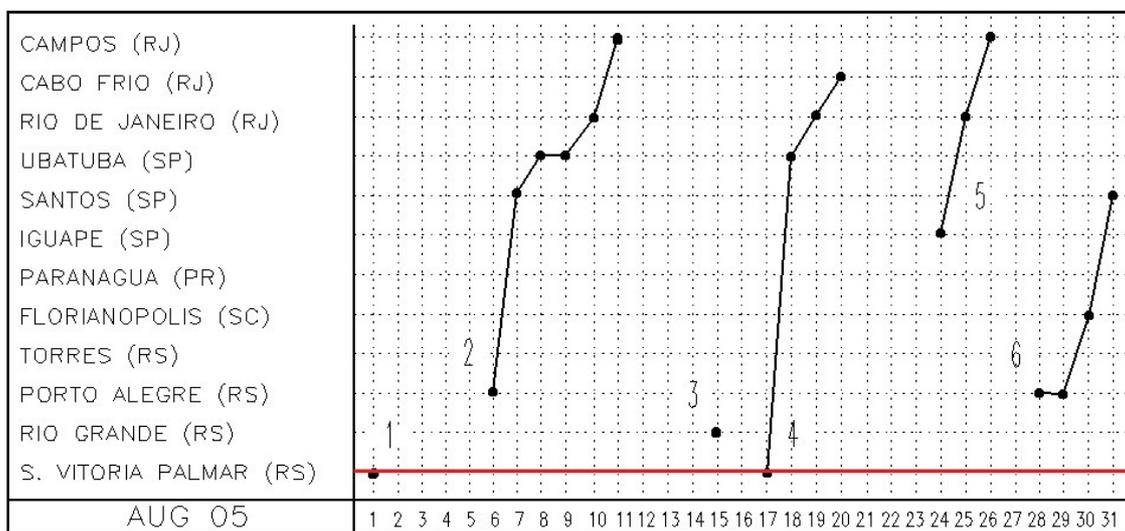


Figura 12 – Sistemas frontais do mês de agosto de 2005.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0505/index.html>

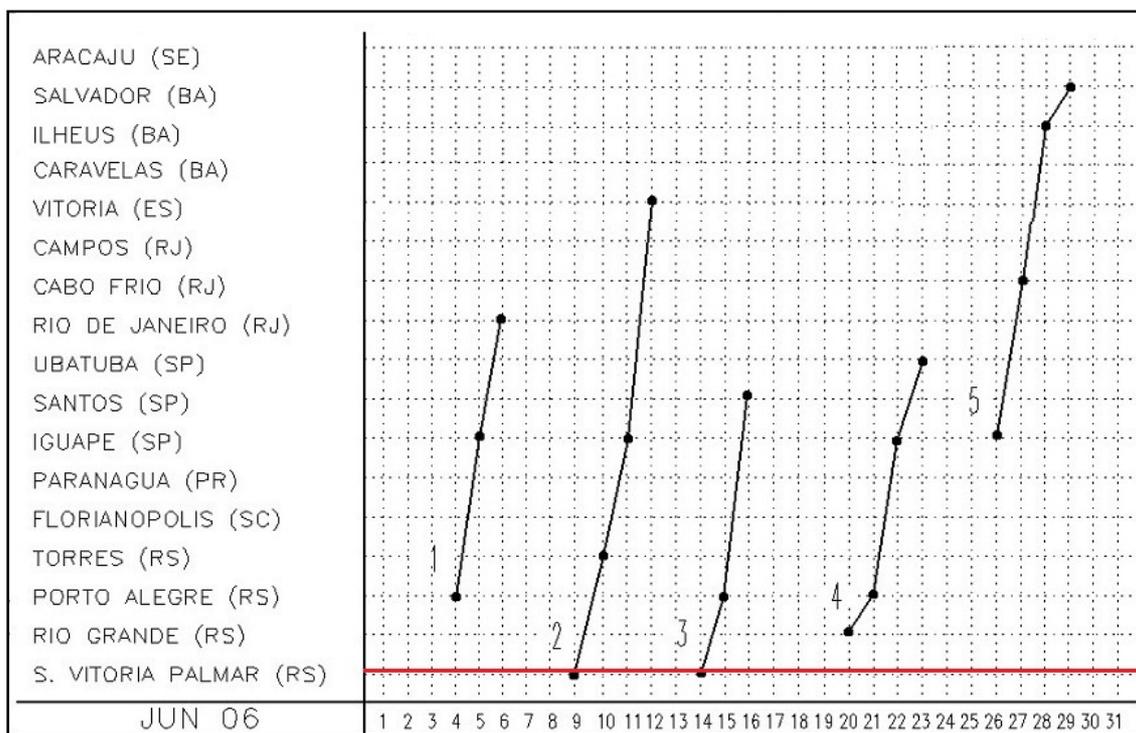


Figura 13 – Sistemas frontais do mês de junho de 2006.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/0505/index.html>

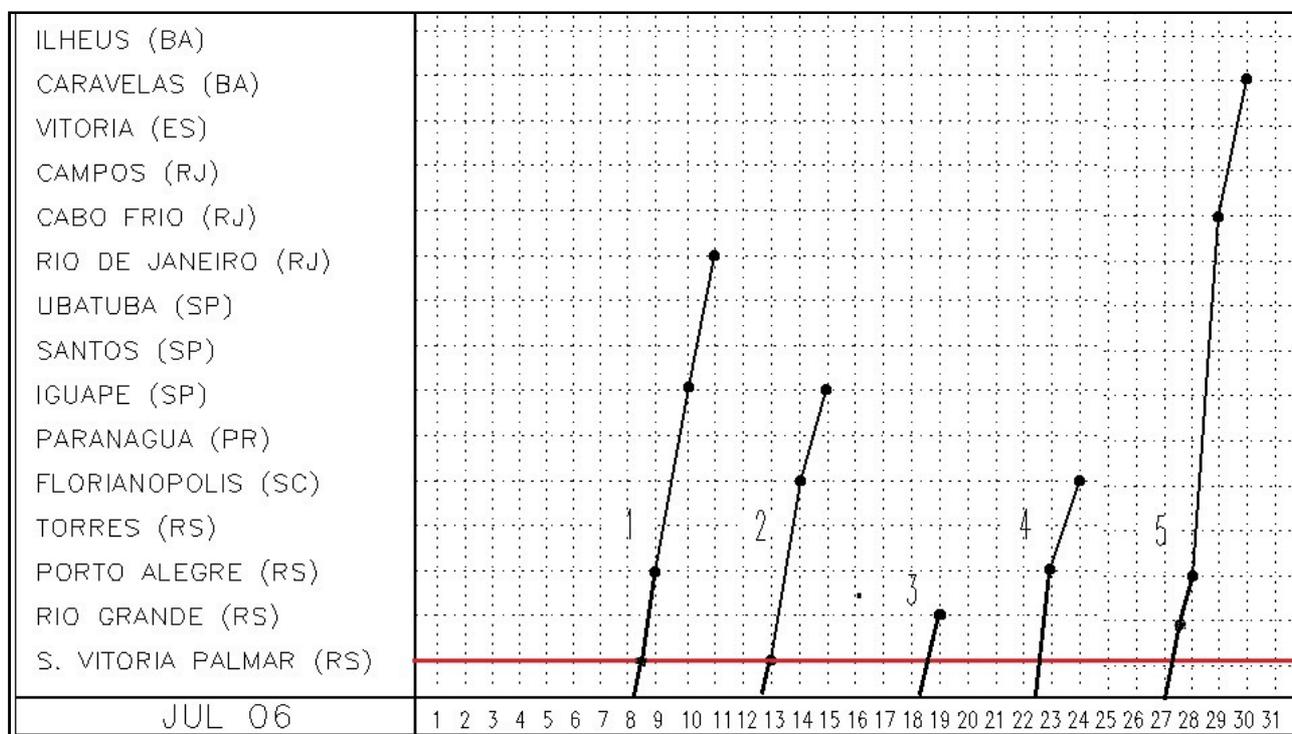


Figura 14 – Sistemas frontais do mês de julho de 2006.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman1/boletim/0505/index.html>

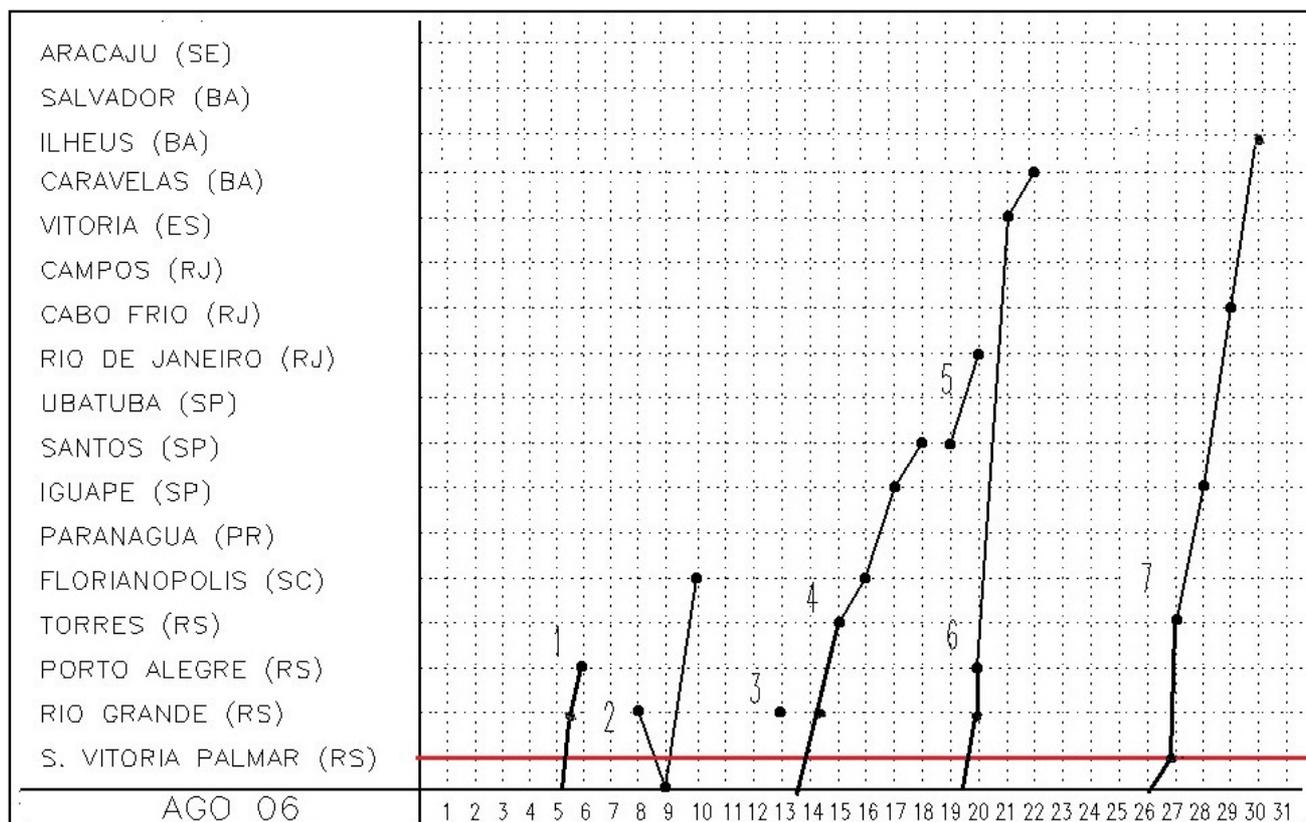


Figura 15 – Sistemas frontais do mês de agosto de 2006.

Fonte: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/0505/index.html>

A influência de cada sistema frontal e sua duração, expressa em intervalos de dias, considerando sua chegada em Santa Vitória do Palmar é mostrada na Tabela 7.

A Tabela 8 apresenta as frentes frias integradas com os dados meteorológicos, bem como os dias em que as imagens foram selecionadas na passagem das frentes. Selecionou-se uma imagem antes da passagem da frente e uma imagem após a passagem da frente. Na Tabela 8, também são mostradas a média da velocidade dos ventos e a média da Temperatura Ambiente (TA °C) para todo o período de duração da passagem do sistema frontal.

Tabela 7 – Período de duração dos sistemas frontais.

Período de duração dos sistemas frontais para o mês de dezembro de 2005																					
SF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1º	E		S																		
2º						E		S													
3º									E			S									
4º																		E			S

Período de duração dos sistemas frontais para os meses de inverno de 2005/2006																															
SF		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1º	Mai/05			E				S																							
2º	Jul/05													E		S															
3º	Ago/05											E									S										
4º	Jun/06						E					S																			
5º	Jun/06									E			S																		
6º	Jul/06				E		S																								
7º	Jul/06																						E	S							
8º	Ago/06																			E		S									
9º	Ago/06																									E			S		

SF = Sistema Frontal

E = Entrada do sistema frontal em Santa Vitória do Palmar

S = Saída do sistema frontal em Santa Vitória do Palmar

Tabela 8 – Datas das imagens MODIS correspondentes às passagens dos sistemas frontais associadas com os dados meteorológicos da Estação Meteorológica de Santa Vitória do Palmar, RS.

DEZEMBRO 2005	Data Imagem MODIS	Hora (h)	TA (°C)	Vento (m/s)	Direção do vento	Média/dia Vento (m/s)	Média/dia TA(°C)	Média Geral vento (m/s)	Média Geral TA(°C)
1ª Entrada	01/12/05	12	20,2	6,2	S	5,2	17,7	5,4	19,5
		18	19,2	7,2	S				
		24	13,8	2,1	S				
1ª Saída	03/12/05	12	21,6	7,2	NE	8,0	22,8		
		18	26,6	8,7	NE				
		24	20,3	8,2	NE				
2ª Entrada	06/12/05	12	18	5,1	SW	5,8	16,6		
		18	18,4	6,2	S				
		24	13,5	6,2	SW				
2ª Saída	08/12/05	12	21,2	8,2	NW	4,1	23,1		
		18	26,6	1	SE				
		24	21,5	3,1	W				
3ª Entrada	10/12/05	12	20,1	2,1	SW	1,7	20,2	5,8	19,1
		18	21,2	2,1	SE				
		24	19,3	1	N				
3ª Saída	13/12/05	12	21,2	4,1	SE	5,8	20,7		
		18	22	5,1	E				
		24	19	8,2	E				
4ª Entrada	18/12/05	12	20	6,2	SW	4,8	19,5	4,1	20,7
		18	22,4	7,2	SW				
		24	16,3	1	S				
4ª Saída	21/12/05	12	20,4	5,1	NW	3,1	22,2		
		18	26,5	4,1	NW				
		24	19,8	0	-				
INVERNO 2005/2006	Dia da Imagem MODIS	Hora	TA (°C)	Vento (m/s)	Direção do vento	Média/dia Vento (m/s)	Média/dia TA(°C)	Média Geral Vento (m/s)	Média Geral TA(°C)
1ª Entrada	04/05/05	12	18,6	3	N	4,3	21,6	3,2	17,6
		18	26	3	NW				
		24	20,2	4	NE				
1ª Saída	08/05/05	12	13,9	2	SE	2,6	17,9		
		18	19,8	4	NE				
		24	15,3	2	NE				
2ª Entrada	15/07/05	12	14,2	1	N	1,3	17,2	4,2	13,9
		18	20,7	2	N				
		24	16,8	1	N				
2ª Saída	17/07/05	12	8,8	8	SW	7,6	10,4		
		18	12,8	8	SW				
		24	9,6	7	SW				
3ª Entrada	12/08/05	12	11,2	1	SE	1,0	13,3	3,8	14,1
		18	18	1	NW				
		24	10,8	1	SE				
3ª Saída	20/08/05	12	15,5	1	SE	2,7	16,2		
		18	18,6	4,1	E				
		24	14,7	3,1	E				
4ª Entrada	08/06/06	12	19,3	5	NW	4,7	22,6	4,1	13,5
		18	27,8	7	NW				
		24	20,8	2	NW				
4ª Saída	12/06/06	12	6,7	0	-	2,0	10,3		
		18	14,8	3	N				

		24	9,4	3	NE				
5ª Entrada	13/06/06	12	10,6	2	NW	1,3	13,8	1,7	12,0
		18	17,3	1	NW				
		24	13,7	1	NW				
5ª Saída	16/06/06	12	6,8	2	SW	1,7	8,1	1,7	12,0
		18	12	2	SW				
		24	5,6	1	S				
6ª Entrada	07/07/06	12	13,6	2	NW	3,7	18,7	4,2	16,7
		18	24,6	3	NE				
		24	18	6	NE				
6ª Saída	09/07/06	12	11,2	8	W	6,7	12,3	4,2	16,7
		18	14,8	8	W				
		24	11	4	W				
7ª Entrada	21/07/06	12	15,1	1	NE	2,7	17,2	2,4	16,3
		18	21,7	2	SW				
		24	14,9	5	SE				
7ª Saída	23/07/06	12	11,6	1	SW	1,0	12,2	2,4	16,3
		18	14,8	2	S				
		24	10,3	0	-				
8ª Entrada	19/08/06	12	9,4	2	W	5,3	13,4	6,0	9,8
		18	17,8	8	NW				
		24	13	6	NW				
8ª Saída	21/08/06	12	6,6	6	SW	3,7	8,4	6,0	9,8
		18	12,2	4	SW				
		24	6,5	1	SW				
9ª Entrada	25/08/06	12	16	1	NW	1,0	19,0	4,0	13,6
		18	25,6	0	C				
		24	15,5	2	NE				
9ª Saída	28/08/06	12	8,4	4	SW	4,3	10,5	4,0	13,6
		18	14,6	7	SW				
		24	8,6	2	SW				

4.3 IMAGENS DO SENSOR MODIS NA PASSAGEM DOS SISTEMAS FRONTAIS

As figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28 mostram as imagens da superfície da lagoa Mangueira, obtidas pelo sensor MODIS, durante as passagens dos sistemas frontais do período dezembro/2005 e inverno/2005/2006. As Figuras 16a e 16b, 17a e 17b, 18a e 18b, 19a e 19b, representam as passagens iniciais e finais dos sistemas frontais que atingiram o sul do Brasil em dezembro de 2005. As Figuras 20a e 20b, 21a e 21b, 22a e 22b representam as passagens iniciais e finais dos sistemas frontais que atingiram o sul do Brasil no inverno de 2005. As Figuras 23a e 23b, 24a e 24b, 25a e 25b, 26a e 26b, 27a e 27b, 28a e 28b representam as passagens iniciais e finais dos sistemas frontais que atingiram o sul do Brasil no inverno de 2006. Nestas Figuras, o traçado em cor branca evidencia a localização da lagoa Mangueira.

4.3.1 IMAGENS DO SENSOR MODIS DO MÊS DE DEZEMBRO/2005

1º Sistema Frontal

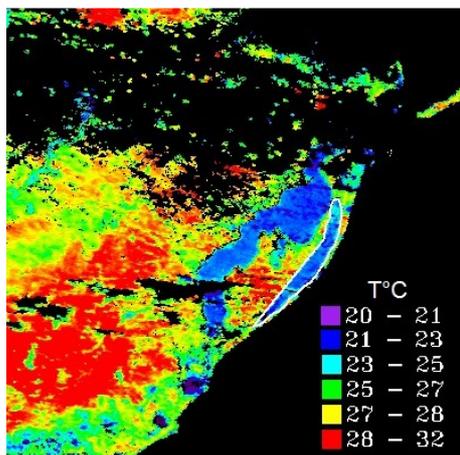


Figura 16 – Imagem (a) 01/12/05

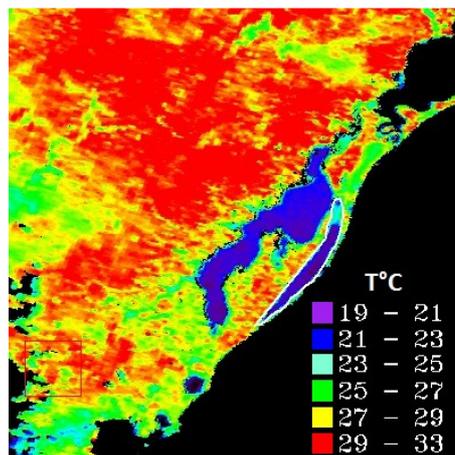


Imagem (b) 03/12/05

2º Sistema Frontal

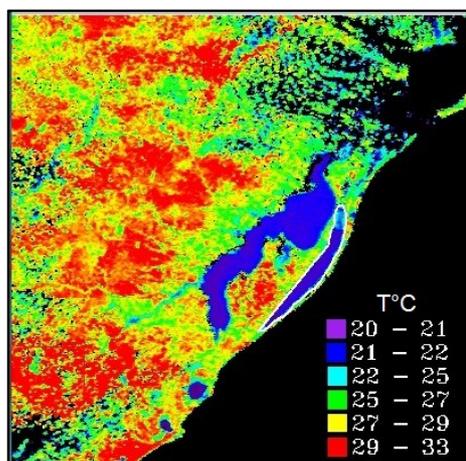


Figura 17 – Imagem (a) 06/12/05

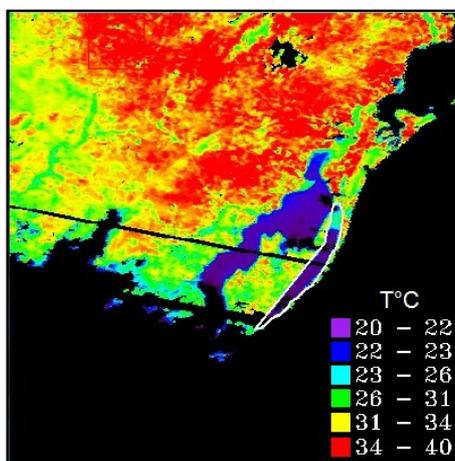


Imagem (b) 08/12/05

3° Sistema Frontal

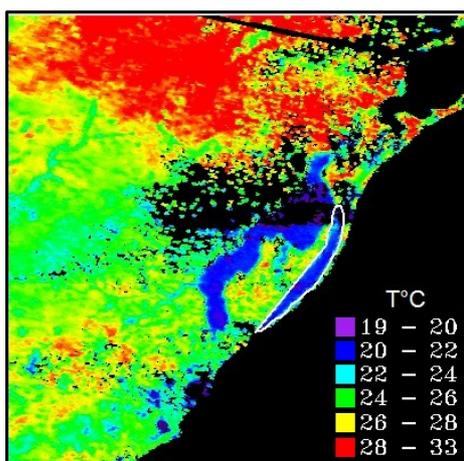


Figura 18 – Imagem (a) 10/12/05

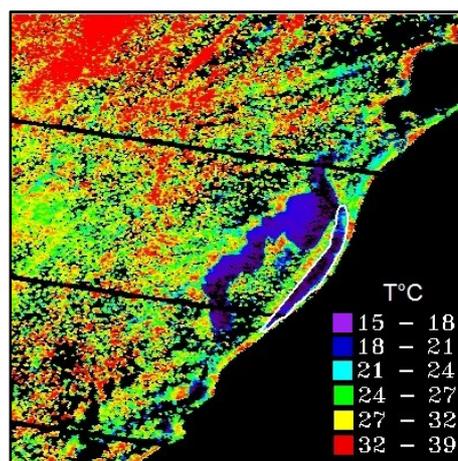


Imagem (b) 13/12/05

4° Sistema Frontal

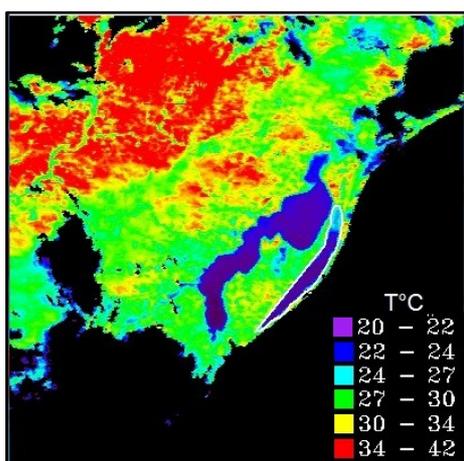


Figura 19 – Imagem (a) 18/12/05

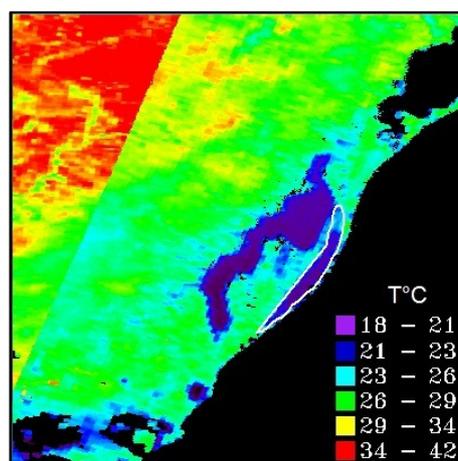


Imagem (b) 21/12/05

4.3.2 IMAGENS DO SENSOR MODIS DOS MESES DE INVERNO 2005/2006

1º Sistema Frontal

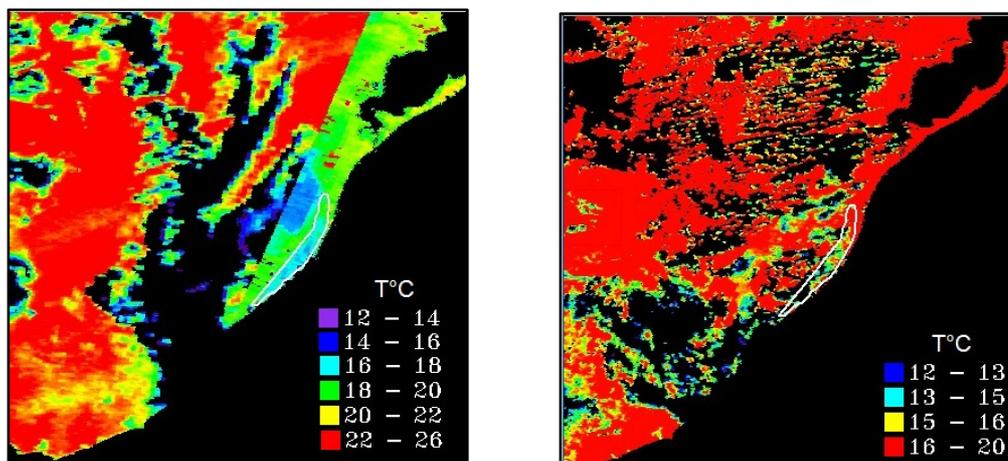


Figura 20 – Imagem (a) 04/05/05

Imagem (b) 08/05/05

2º Sistema Frontal

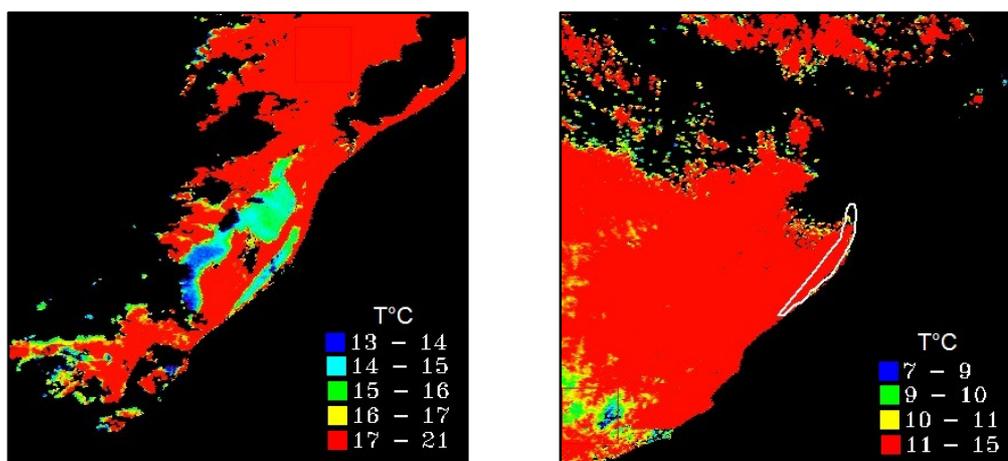


Figura 21 - Imagem (a) 15/07/05

Imagem (b) 17/07/05

3º Sistema Frontal

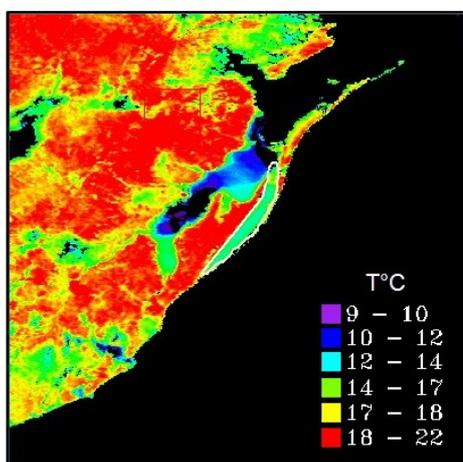


Figura 22 – Imagem (a) 12/08/05

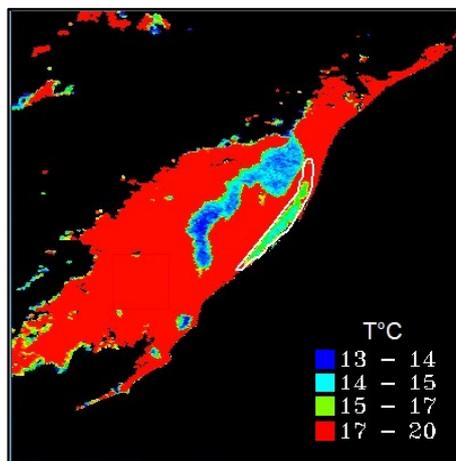


Imagem (b) 20/08/05

4º Sistema Frontal

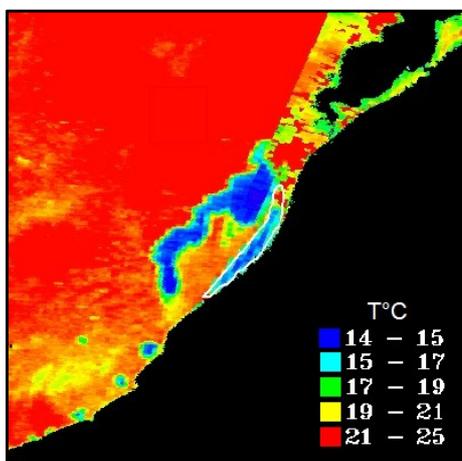


Figura 23 – Imagem (a) 08/06/06

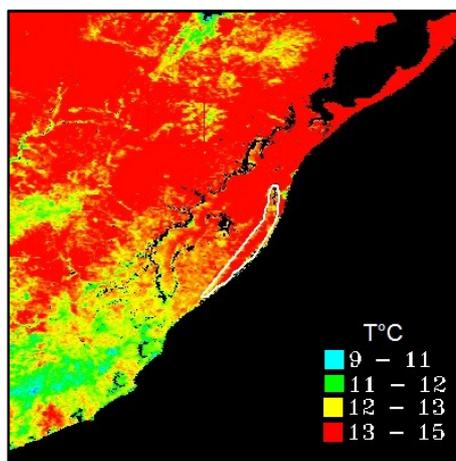


Imagem (b) 12/06/06

5° Sistema Frontal

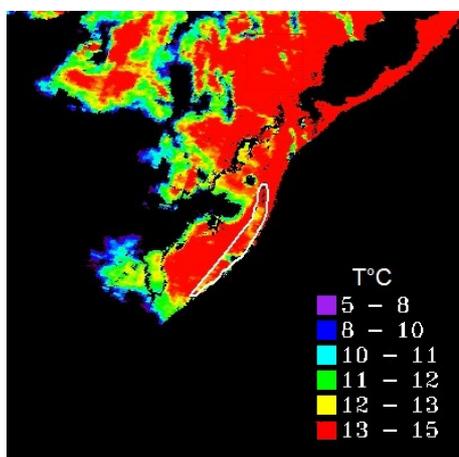


Figura 24 – Imagem (a) 13/06/06

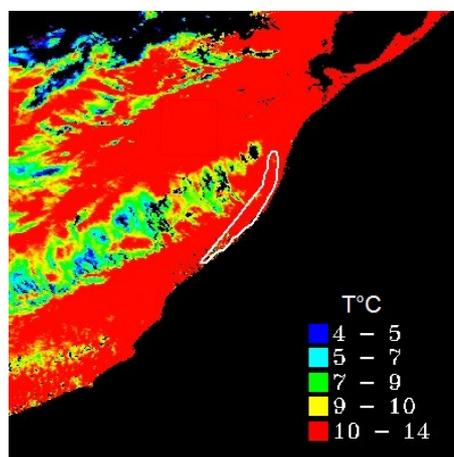


Imagem (b) 16/06/06

6° Sistema Frontal

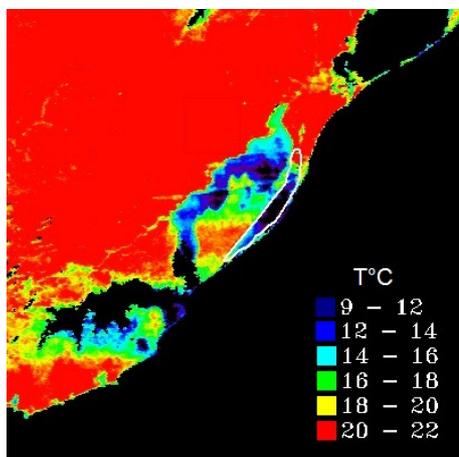


Figura 25 – Imagem (a) 07/07/06

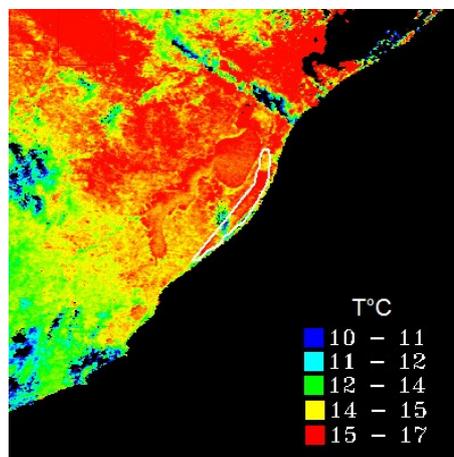


Imagem (b) 09/07/06

7° Sistema Frontal

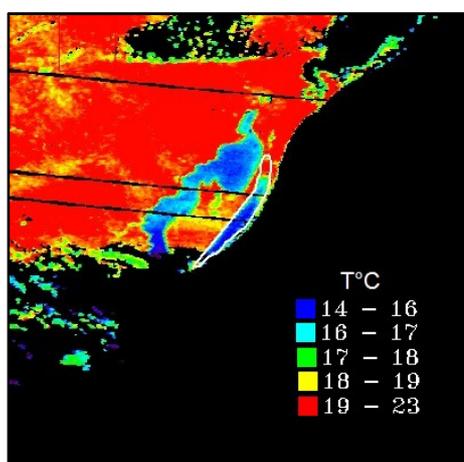


Figura 26 – Imagem (a) 21/07/06

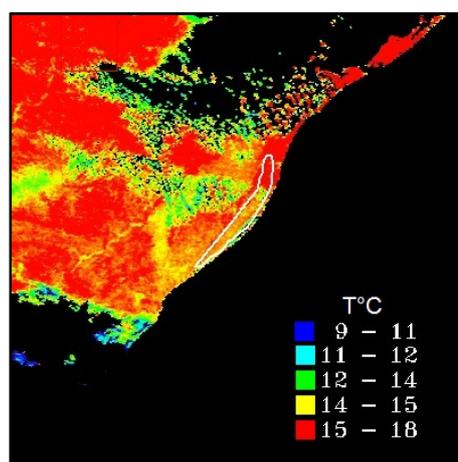


Imagem (b) 23/07/06

8° Sistema Frontal

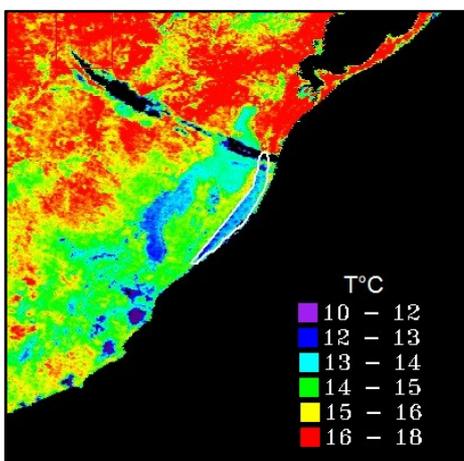


Figura 27 – Imagem (a) 19/08/06

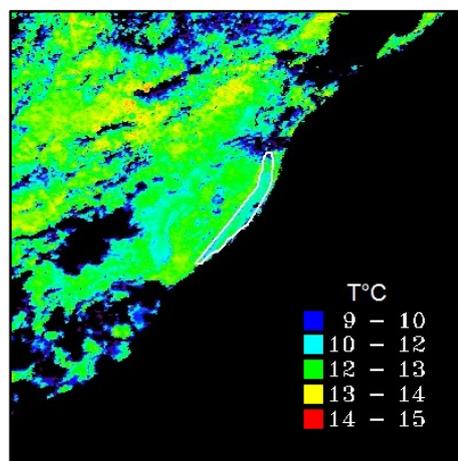


Imagem (b) 21/08/06

9º Sistema Frontal

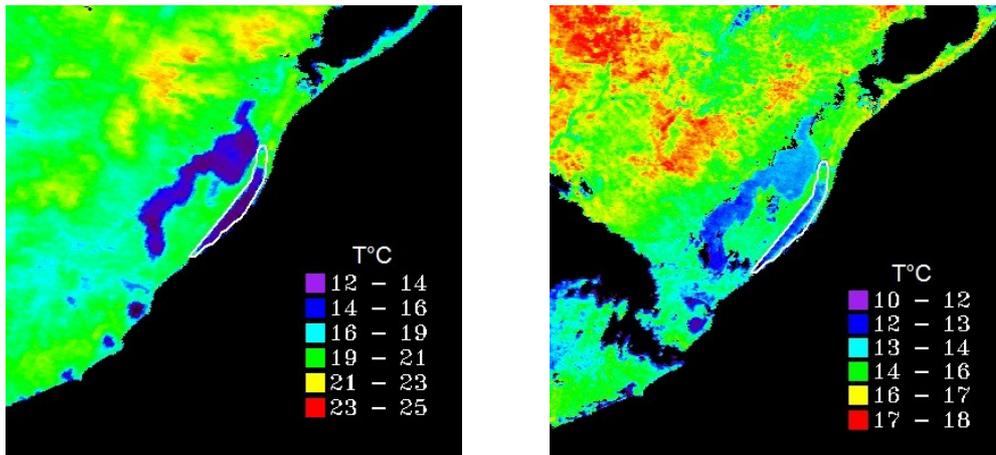


Figura 28 – Imagem (a) 25/08/06

Imagem (b) 28/08/06

4.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Calculou-se as estatísticas descritivas (máximo, mínimo, média (\bar{x}), desvio padrão (s_T) e coeficiente de variação (CV_T) para o PL traçado nas imagens MODIS e para a máscara da superfície total da lagoa. Para analisar as diferenças da TSL nas entradas e nas saídas dos sistemas frontais, aplicou-se o teste t de *Student* para duas amostras Pareadas (amostras relacionadas), a partir do PL. Este teste de hipótese avalia se existe diferença significativa entre as médias da TSL na entrada e na saída dos sistemas frontais. Considerou-se o par de hipóteses para o teste bilateral:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_E - \mu_S = 0 \\ H_a : \mu_E - \mu_S \neq 0 \end{cases}$$

μ_E = média do perfil de temperatura na entrada do sistema frontal.

μ_S = média do perfil de temperatura na saída do sistema frontal.

Hipótese nula:

H_0 : Não há diferença significativa entre as médias da TSL na entrada e na saída do sistema frontal.

Hipótese alternativa:

H_a diferença significativa entre as média dos perfis de temperatura na entrada e saída do sistema frontal.

A Estatística do teste t é dada por:

$$t = \frac{\bar{D}}{S_D / \sqrt{n}} \quad (5)$$

onde tem-se uma distribuição “t” com “n-1” graus de liberdade.

\bar{D} é a média das diferenças da TSL da entrada e da saída do sistema frontal.

S_D é o desvio padrão das diferenças da TSL da entrada e da saída do sistema frontal

n é o número de pixels do perfil longitudinal (PL) em cada sistema frontal.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DE RESULTADOS DO MÊS DEZEMBRO/2005

As Tabelas 9 e 10 do item 5.1 item e as Tabelas 12 e 13 do item 5.2 exibem para as entradas e saídas dos sistemas frontais frios, diferentes valores e índices estatísticos da TSL a partir da máscara da lagoa e do PL. Estas quantidades são calculadas a partir dos valores de TSL observados na máscara da lagoa e no PL traçado no eixo central da lagoa. Mais especificamente, nas entradas e saídas das frentes frias, estas Tabelas mostram o número de pixels da máscara da lagoa para cada SF, os valores máximos (Max) e mínimos (Min), os valores médios (\bar{x}), os desvios padrões(S) e os coeficientes de variações(CV) da TSL. Uma análise baseada em índices estatísticos específicos permite conhecer a amplitude destas variações. Os desvios padrões da temperatura superficial S indicam a magnitude das flutuações desta variável em relação aos seus valores médios. A Tabela 11 exhibe o resultado do teste de hipótese que evidencia se as médias da TSL observadas no PL diferem nas entradas e nas saídas dos sistemas frontais.

Tabela 9 – Estatísticas de temperatura de superfície da **Máscara** da lagoa Mangueira na entrada e saída dos sistemas frontais do mês de dezembro de 2005.

SF		Dia Imagem MODIS	Número de Pixels	Máximo	Mínimo	\bar{x} (°C)	S(°C)	CV(%)
1 ^a	Entrada	01/12/05	878	25,52	20,84	22,80	0,67	3,21
	Saída	03/12/05	904	26,44	19,39	21,25	1,02	4,80
2 ^a	Entrada	06/12/05	910	25,02	20,01	21,81	0,58	2,66
	Saída	08/12/05	754	31,82	17,48	20,35	1,72	8,45
3 ^a	Entrada	10/12/05	908	23,25	17,42	20,15	0,77	3,82
	Saída	13/12/05	843	27,36	15,58	19,19	1,64	8,55
4 ^a	Entrada	18/12/05	902	28,60	21,20	22,71	1,24	5,46
	Saída	21/12/05	907	26,68	18,45	20,77	1,25	6,02
Média das médias da Entrada do SF						21,87		
Média das médias da Saída do SF						20,40		

Tabela 10 – Estatísticas da temperatura do **PL** da lagoa Mangueira na entrada dos sistemas frontais.

SF		Dia Imagem MODIS	Máximo	Mínimo	\bar{x} (°C)	S(°C)	CV(%)
1 ^a	Entrada	01/12/05	23,39	22,55	23,00	0,24	1,04
	Saída	03/12/05	21,63	20,55	21,09	0,25	1,18
2 ^a	Entrada	06/12/05	21,91	21,03	21,41	0,18	0,84
	Saída	08/12/05	20,79	19,83	20,15	0,22	1,09
3 ^a	Entrada	10/12/05	20,79	19,13	20,26	0,35	1,73
	Saída	13/12/05	20,09	16,59	18,35	0,87	4,74
4 ^a	Entrada	18/12/05	22,13	21,35	21,72	0,17	0,78
	Saída	21/12/05	21,13	19,71	20,15	0,30	1,49
Média das médias da Entrada do SF					21,60 °C		
Média das médias da Saída do SF					19,9°C		

5.1.1 TESTE DE HIPÓTESE PARA PL DO MÊS DE DEZEMBRO/2005

A Tabela 11 apresenta os resultados do teste t que verifica se existe diferença significativa entre a TSL antes e após as passagens dos sistemas frontais.

Tabela 11 – Teste *t* para amostras pareadas para o PL.

SF		Dia Imagem MODIS	Número de pixels do perfil	t Calculado	t Tabelado	Nível de Significância
1 ^a	Entrada	01/12/05	100	11,03*	2,62	1%
	Saída	03/12/05				
2 ^a	Entrada	06/12/05	88	1,85**	1,66	10%
	Saída	08/12/05				
3 ^a	Entrada	10/12/05	89	5,14*	2,62	1%
	Saída	13/12/05				
4 ^a	Entrada	18/12/05	104	16,19*	2,62	1%
	Saída	21/12/05				

*Significativo a 1%, ou seja as médias da TSL diferem entre a entrada e a saída dos sistemas frontais, ao nível de significância de 0,01.

**Significativo a 10%, ou seja as médias da TSL diferem entre a entrada e a saída dos sistemas frontais ao nível de significância de 0,1.

O teste *t* revelou que existe diferença significativa entre as médias da TSL antes e após as passagens dos sistemas frontais, a partir do PL da lagoa Mangueira. Esta diferença é da ordem de 2°C, conforme a Tabela 10. Este resultado revela que a TSL sofre queda significativa nas passagens dos sistemas frontais no período de dezembro de 2005.

As Figuras 29 a 32 apresentam os perfis longitudinais das passagens dos sistemas frontais do mês de dezembro de 2005. Estas figuras são confeccionadas a partir das imagens MODIS durante as passagens das frentes frias. Nestas Figuras é representado, nas entradas e saídas das frentes, o comportamento da TSL ao longo da direção sul-norte. A Figura 29 representa a TSL na primeira frente fria, onde observa-se que a TSL apresenta flutuações ao longo do PL. Na região central da lagoa, estas flutuações mostram, em alguns pontos, padrões semelhantes de comportamento. O perfil da TSL na saída da primeira frente fria (Figura 29), mostra que a TSL aumenta subitamente na região norte da lagoa. Este aumento da TSL na sua parte norte também é observado nos demais perfis de saídas das frentes frias (Figuras 30, 31 e 32). A temperatura mais elevada, medida no norte da lagoa, pode ser explicada pelo fato de ocorrer naquela região a interface aquática conectando as águas da lagoa Mangueira com as águas que compõem o Parque da Reserva Natural Taim.

A passagem do segundo sistema frontal (Figura.30) exhibe menores oscilações na TSL. O perfil de saída desta passagem de frente mostra dois pontos bem caracterizados, nos quais ocorreram decréscimos na TSL. O primeiro ponto é localizado na região sul da lagoa e o segundo na região norte.

Durante a passagem do terceiro sistema frontal (Figura 31), particularmente na entrada do sistema, são observadas pequenas flutuações na TSL. Na saída deste sistema frontal, quando comparado com a parte sul da lagoa, observa-se que a região central sofreu grandes oscilações na TSL.

A Figura 32 mostra a quarta passagem do sistema frontal. Neste caso, para a entrada e saída da frente, observa-se que a TSL exibe um padrão de comportamento semelhante apresentando pequenas flutuações na região central da lagoa. Estas flutuações apresentam uma variação da ordem de 4°C na temperatura superficial da lagoa. Esta flutuação é responsável pelo valor elevado obtido em CV. Os CVs refletem o índice relativo entre o desvio padrão e a média em termos percentuais.

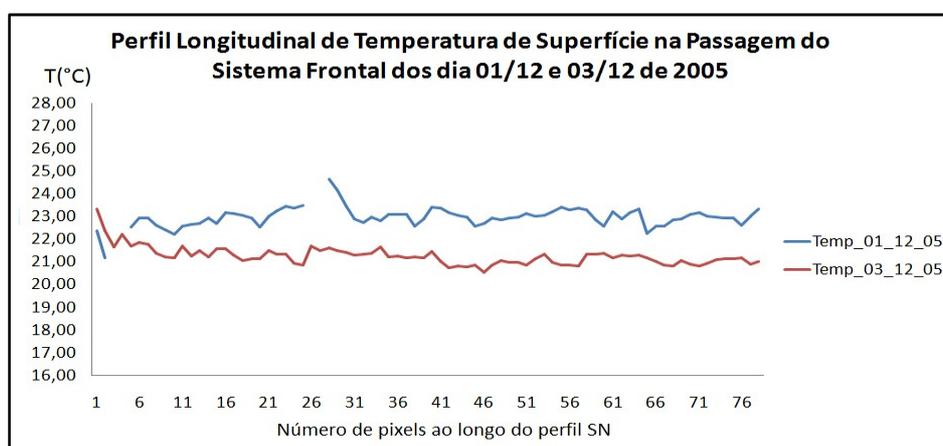


Figura 29 – PL na passagem do 1° SF.

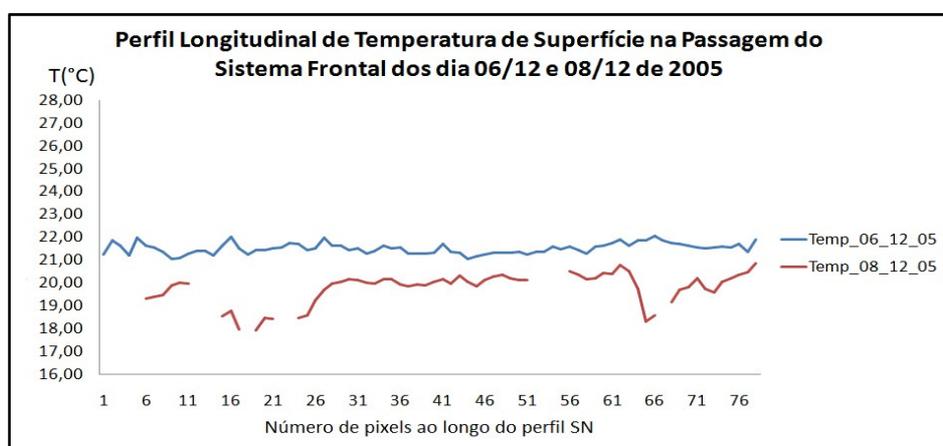


Figura 30 – PL na passagem do 2° SF.

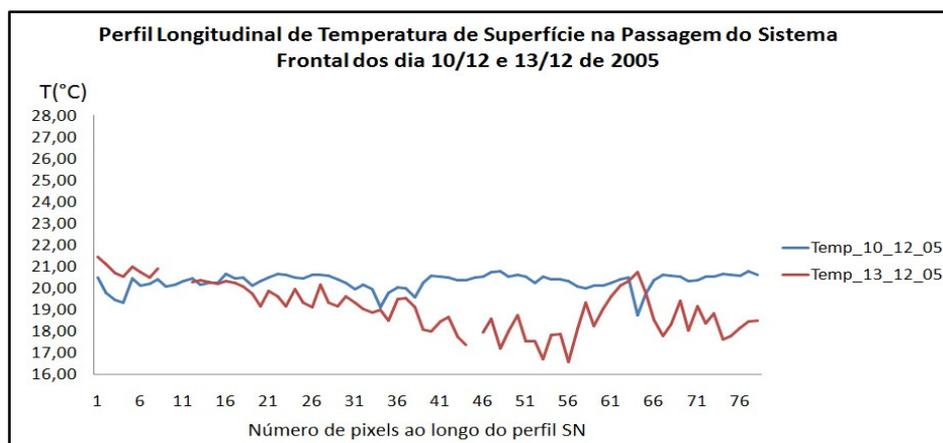


Figura 31 – PL na passagem do 3° SF.

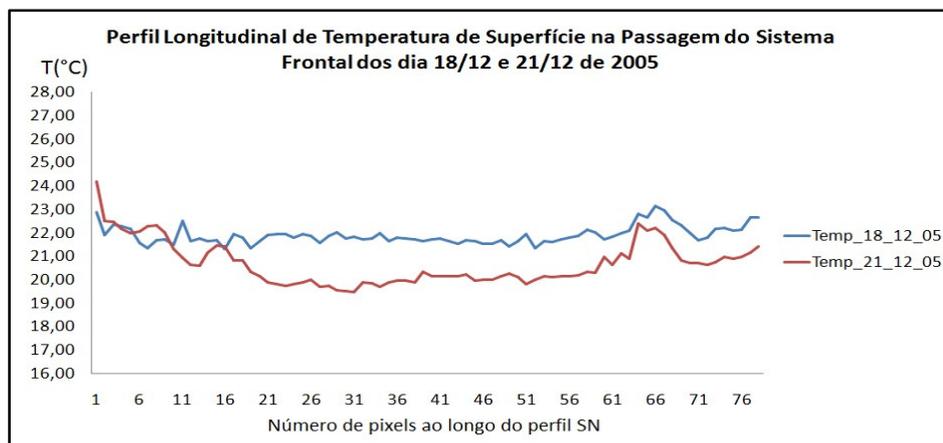


Figura 32 – PL na passagem do 4° SF.

A relatividade observada de 4,74% indica que ocorreram dispersões (variações) de valores de TSL em torno da média na saída da terceira frente fria. A passagem da primeira e quarta frente fornecem, respectivamente, valores de CV da ordem de 1,18 e 1,49%.

Neste ponto é importante analisar a magnitude e a direção da velocidade do vento durante as passagens das frentes frias e relacionar estas variáveis com o comportamento observado nas medidas da TSL. Comparando estes valores, exibidos na Tabela 8, com as medidas da TSL nas passagens das frentes, observa-se que os ventos fortes, durante estes eventos, provocam as maiores flutuações nas medidas da TSL. A primeira entrada de frente fria inicia com a magnitude do vento sul variando entre 6 e 7m/s. Na saída desta frente, o vento aumenta a sua magnitude para 8m/s e muda a sua

direção para o quadrante nordeste. Durante este processo, observando a Figura 29, percebe-se que a TSL apresenta grandes variações. A TSL é também influenciada pelo vento leste originado do Oceano Atlântico na saída da 3ª frente fria. O vento leste forte, com magnitudes de 8,7 m/s, gera grandes flutuações de temperatura. Isto pode ser explicado pela presença de uma turbulência atmosférica que transfere momentum e energia para a lagoa. Neste caso, movimentos turbulentos e ondulatórios estão presentes no corpo de água. A Figura 31 mostra uma queda de temperatura de aproximadamente 4,7°C na região central da lagoa.

Considerando-se alguns argumentos físicos do ambiente da lagoa pode-se explicar os resultados remotos observados para a temperatura superficial deste corpo de água. Em primeiro lugar, o estudo mostra que a TSL nas entradas e saídas das frentes frias apresenta pouca variação na região sul da lagoa (Figuras 29, 30, 31 e 32). Este comportamento pode ser explicado pelo fato da lagoa ser estreita nesta região e como consequência os contornos de terra firme e de vegetação agem para dissipar de maneira eficiente os movimentos turbulentos e ondulatórios ocasionados pela velocidade do vento. Diferentemente da parte sul da lagoa, na primeira, na terceira e na quarta frente fria, a região central, entre as entradas e saídas destas frentes, apresenta diferenças maiores de temperatura superficial (Figuras 29, 31, 32). Esta região apresenta a maior largura e profundidade da lagoa. Como consequência, a maior parte da superfície da água está distante de contornos sólidos, tanto horizontalmente como verticalmente. Este afastamento dos contornos diminui o efeito de impedância e retarda a dissipação de energia, conferindo ao sistema (lagoa), a possibilidade de desenvolver um número bem maior de graus de liberdade. Neste caso, movimentos ondulatórios e turbulentos promovem, nas entradas e saídas das frentes frias, o efeito mais intenso observado nas diferenças da TSL. Diferente dos outros perfis, a Figura 30 exibe na entrada e saída do segundo sistema frontal uma diferença de temperatura pequena na parte central da lagoa. Observando-se os dados de magnitude e direção do vento, durante a passagem desta frente, percebe-se um meandro intenso na direção do vento. Isto significa que em um período de poucas horas, o vento soprou de diferentes quadrantes, reduziu a sua magnitude de velocidade e tornou-se direcionalmente mais caótico. Estas baixas velocidades, cujas magnitudes são de 1,0 e 3,1m/s, são mostradas na Tabela 8. Portanto, esta diferença de temperatura pequena, durante o segundo sistema frontal, pode ser explicada pela baixa velocidade do vento. Nesta situação, a energia do vento não gerou movimentos turbulentos e ondulatórios capazes de criar uma diferença acentuada na TSL.

As Figuras 29, 30, 31 e 32 da TSL mostram que a região norte da lagoa sofre um aumento de temperatura em todas as passagens das frentes frias. Isto ocorre na presença de um resfriamento observado ao longo de quase todo percurso sul-norte do perfil longitudinal. Este efeito observado

pode ser provocado pela presença de plantas macrófitas emergentes presentes neste local. Um outro fator que pode estar influenciando esta elevação de temperatura na parte norte da lagoa é a contínua entrada de nutrientes originados do banhado situado no parque da reserva do Taim (Rodrigues, 2009).

5.2 ANÁLISE DE RESULTADOS DOS MESES DE INVERNO 2005/2006

Através da análise estatística, observa-se que as maiores magnitudes das flutuações (os mais altos valores de *CV*), ocorrem durante a passagem da sexta frente fria, seguida da quarta e da nona frente fria. Estas flutuações apresentam uma variação da ordem de 3°C na TSL a partir do perfil PL (Tabela 13). Por outro lado, considerando toda a superfície da lagoa (Tabela 12), a variação média é da 2°C

Tabela 12 – Estatísticas de temperatura de superfície da **Máscara** da lagoa Mangueira na entrada e saída dos sistemas frontais dos meses de inverno de 2005/2006.

SF		Dia Imagem MODIS	Número de pixels	Máximo	Mínimo	\bar{x} (°C)	S(°C)	CV(%)
1ª	Entrada	04/05/05	706	18,92	14,34	16,29	0,70	4,30
	Saída	08/05/05	460	18,54	11,68	14,66	1,38	9,41
2ª	Entrada	15/07/05	700	18,46	9,32	14,70	1,01	6,87
	Saída	17/07/05	700	14,78	9,14	12,75	0,82	6,43
3ª	Entrada	12/08/05	708	17,20	13,70	14,74	0,58	3,93
	Saída	20/08/05	707	17,18	13,77	14,36	0,67	4,66
4ª	Entrada	08/06/06	873	24,66	14,60	16,78	2,01	11,98
	Saída	12/06/06	852	14,56	11,18	12,66	0,64	5,05
5ª	Entrada	13/06/06	688	13,82	5,95	12,14	0,81	6,67
	Saída	16/06/06	686	13,90	7,46	11,47	1,18	10,29
6ª	Entrada	07/07/06	707	18,14	7,86	11,86	1,80	15,18
	Saída	09/07/06	705	16,20	9,40	13,72	1,03	7,51
7ª	Entrada	21/07/06	671	17,80	10,93	15,08	0,97	6,43
	Saída	23/07/06	706	11,96	16,50	14,16	0,57	4,02
8ª	Entrada	19/08/06	707	13,51	11,26	12,41	0,39	3,14
	Saída	21/08/06	698	12,78	6,05	10,60	0,63	5,94
9ª	Entrada	25/08/06	707	18,05	12,32	14,27	1,06	7,43
	Saída	28/08/06	703	14,28	10,90	12,02	0,43	3,58
Média das médias da Entrada do SF						14,25		
Média das médias da Saída do SF						12,93		

Tabela 13 - Estatísticas de temperatura de superfície do **PL** da lagoa Mangueira na entrada e saída dos sistemas frontais dos meses de inverno de 2005/2006.

SF		Data da Imagem MODIS	Máximo	Mínimo	\bar{x} (°C)	S(°C)	CV(%)
1 ^a	Entrada	04/05/05	19,42	15,66	17,22	1,06	6,17
	Saída	08/05/05	19,54	12,76	16,00	1,92	12,03
2 ^a	Entrada	15/07/05	18,72	12,24	15,76	1,34	8,48
	Saída	17/07/05	14,46	9,08	13,02	1,30	9,95
3 ^a	Entrada	12/08/05	17,84	13,78	14,79	0,84	5,66
	Saída	20/08/05	18,36	14,14	15,35	1,23	8,03
4 ^a	Entrada	08/06/06	24,44	14,74	17,35	2,91	17,00
	Saída	12/06/06	14,00	11,92	13,39	0,46	3,41
5 ^a	Entrada	13/06/06	14,44	10,36	12,91	0,65	5,01
	Saída	16/06/06	13,52	8,86	11,81	1,13	9,58
6 ^a	Entrada	07/0706	21,18	9,72	13,77	3,19	23,19
	Saída	09/0706	16,00	11,46	14,37	0,76	5,26
7 ^a	Entrada	21/0706	21,34	13,68	16,58	2,17	13,07
	Saída	23/07/06	16,04	13,20	14,81	0,61	4,15
8 ^a	Entrada	19/08/06	14,52	11,46	13,07	0,43	3,28
	Saída	21/08/06	12,44	8,30	11,22	0,72	6,42
9 ^a	Entrada	25/08/06	21,46	13,42	15,66	2,49	15,90
	Saída	28/08/06	14,76	10,60	12,79	0,71	5,55
Média das médias da Entrada do SF						14,68°C	
Média das médias da Saída do SF						13,64°C	

5.2.1 TESTE DE HIPÓTESE PARA PL DOS MESES DE INVERNO 2005/2006

A Tabela 14 apresenta o resultado do Teste t que verifica se há diferença significativa da TSL antes e após a passagem dos sistemas frontais.

Tabela 14 - Teste t para amostras pareadas para o PL dos meses de inverno 2005/2006.

SF		Dia Imagem MODIS	Número de pixels do perfil	t Calculado	t Tabelado	Nível de Significância
1 ^a	Entrada	04/05/05	79	9,25	2,64	1%*
	Saída	08/05/05				
2 ^a	Entrada	15/07/05	78	9,79	2,64	1%*
	Saída	17/07/05				
3 ^a	Entrada	12/08/05	91	-3,91	-2,63	1%*
	Saída	20/08/05				
4 ^a	Entrada	08/06/06	83	12,57	2,63	1%*
	Saída	12/06/06				
5 ^a	Entrada	13/06/06	77	6,28	2,64	1%*
	Saída	16/06/06				
6 ^a	Entrada	07/0706	92	-2,01	-1,98	5%**
	Saída	09/0706				

7ª	Entrada	21/07/06	88	5,66	2,63	1%*
	Saída	23/07/06				
8ª	Entrada	19/08/06	87	21,93	2,64	1%*
	Saída	21/08/06				
9ª	Entrada	25/08/06	93	2,87	2,64	1%*
	Saída	28/08/06				

* Significativo a 1%, ou seja, as médias da TSL diferem entre a entrada e saída dos sistemas frontais, ao nível de significância de 0,01.

** Significativo a 5%, ou seja, as médias da TSL diferem entre a entrada e saída dos sistemas frontais ao nível de significância de 0,05.

O teste *t* revelou que existe diferença significativa entre as médias da TSL para todas as frentes, antes e após as passagens dos sistemas frontais, a partir do PL da lagoa Mangueira, Tabela 14.

As Figuras, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 e 41 exibem os perfis longitudinais de temperatura superficial da lagoa Mangueira dos meses de inverno 2005/2006. A Figura 33 representa a TSL na primeira frente fria do período de inverno. Observa-se que a TSL apresenta pouca variação na entrada da frente e maiores flutuações na saída da frente. A entrada da segunda frente fria, Figura 34, exhibe menores oscilações na região sul e centro da lagoa, tanto na entrada como na saída da frente fria. Na região norte, observa-se aumento da TSL na entrada da frente e na saída ocorre uma queda da TSL com maiores flutuações. Na terceira frente fria, Figura 35, a TSL se comporta de forma estável na entrada e saída da frente. Porém, na região norte observa-se aumento da TSL influenciada pela proximidade do banhado do Taim, Figura 35.

1ª Frente fria – Maio/2005

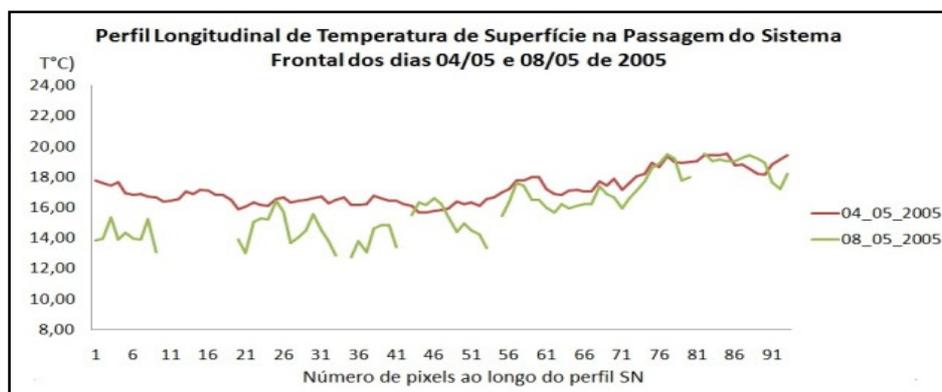


Figura 33 – PL na passagem do 1º SF.

2ª Frente fria – julho/2005

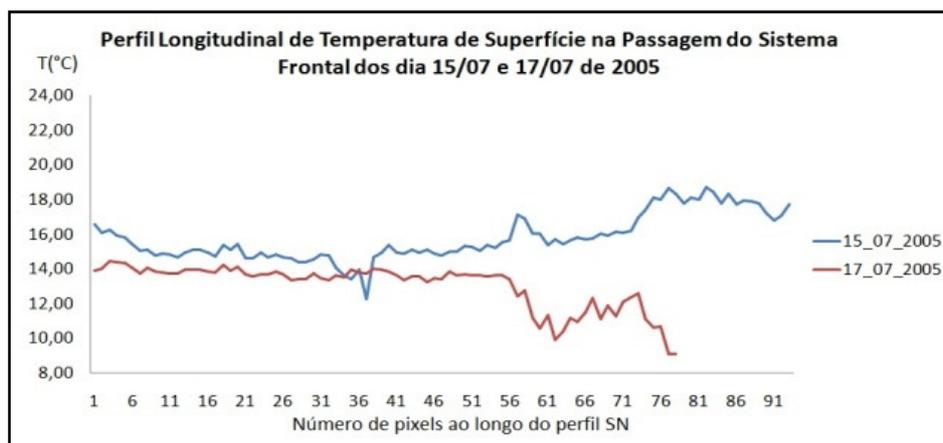


Figura 34 – PL na passagem do 2º SF.

3ª Frente fria – agosto / 2005

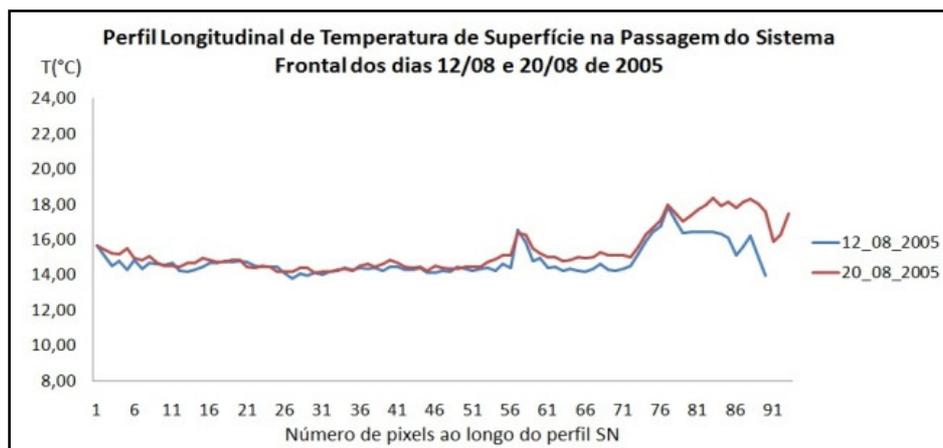


Figura 35 – PL na passagem do 3º SF.

A Figura 36 representa a TSL na quarta frente fria. Pode-se observar que a TSL apresenta maiores flutuações na entrada da frente e aumenta subitamente na região norte da lagoa. Este aumento da TSL na parte norte também é observado nos demais perfis de entrada da frente fria (Figuras 33, 34, 39, 41). Esta temperatura mais elevada, observada ao norte, é caracterizada pela presença do parque da reserva natural Taim, que conecta com as águas da lagoa Mangueira. A passagem da quinta frente fria (Figura 37) exibe menores oscilações da TSL, particularmente, na entrada da frente fria. O perfil de saída desta frente mostra flutuações mais acentuadas na região sul da lagoa. Durante a passagem do sexto sistema frontal (Figura 38) são observadas flutuações maiores na entrada da frente, particularmente, na região central da lagoa, onde ocorre um decréscimo da TSL,

em relação à parte sul e norte. Na saída desta frente a temperatura se estabiliza e aumenta no centro da lagoa, diferentemente das saídas das demais frentes frias. A sétima frente fria (Figura.39) apresenta TSL praticamente constante ao sul da lagoa e maiores flutuações ao centro e norte da lagoa. A oitava frente fria, tanto na entrada como na saída da frente, a TSL apresenta pequenas flutuações na região sul e uma maior variação na região norte (Figura 40). Na nona frente fria também é observado, na entrada e saída da frente, pequenas flutuações no sul e no centro e maiores flutuações no norte da lagoa, Figura 41.

4ª e 5ª Frente fria (Junho/06)

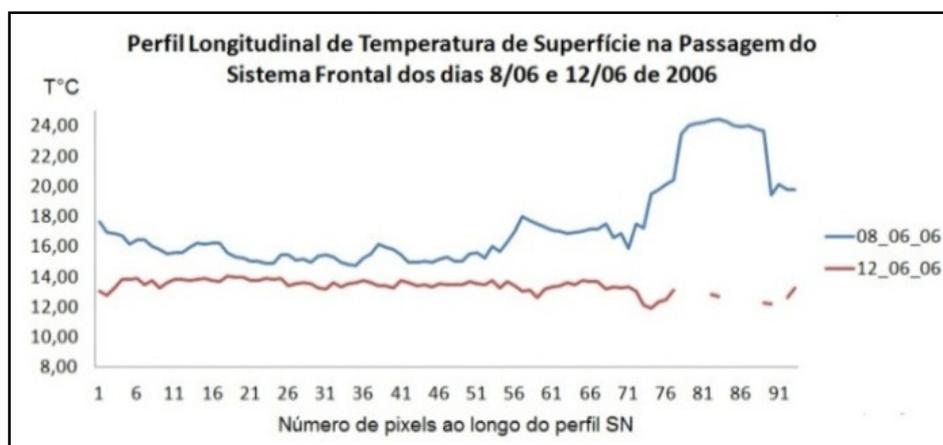


Figura 36 – PL na passagem do 4º SF.

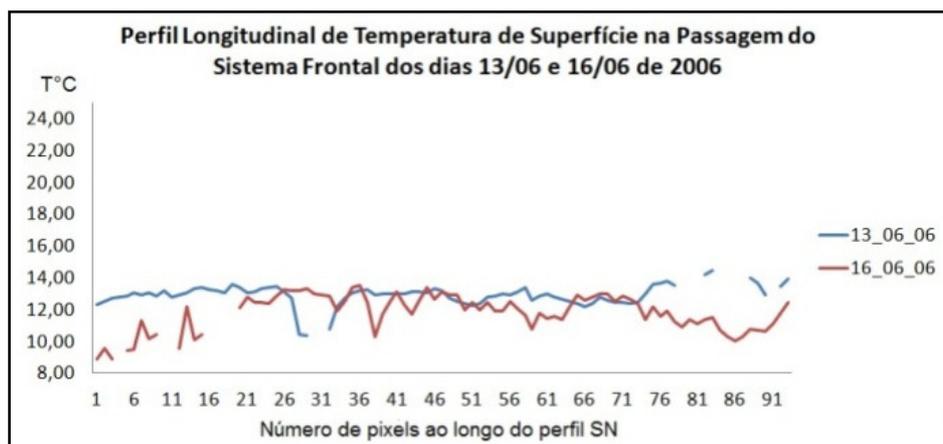


Figura 37 – PL na passagem do 5º SF.

6ª Frente fria e 7ª Frente fria (julho/06)

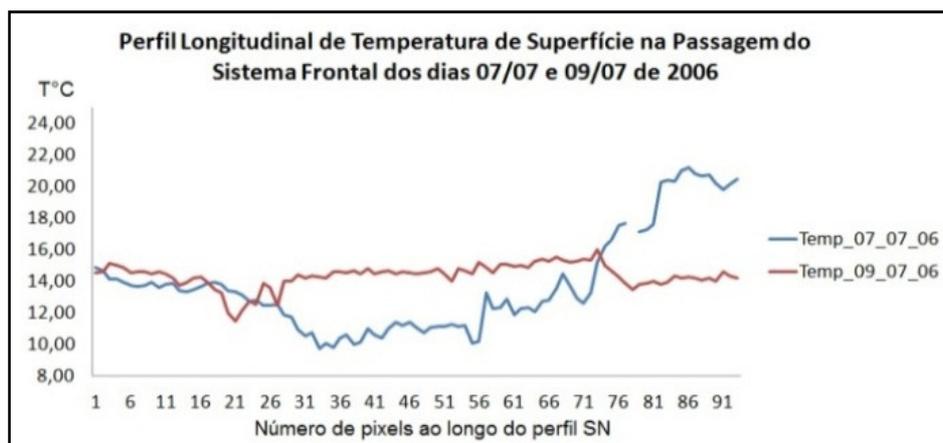


Figura 38 – PL na passagem do 6º SF.

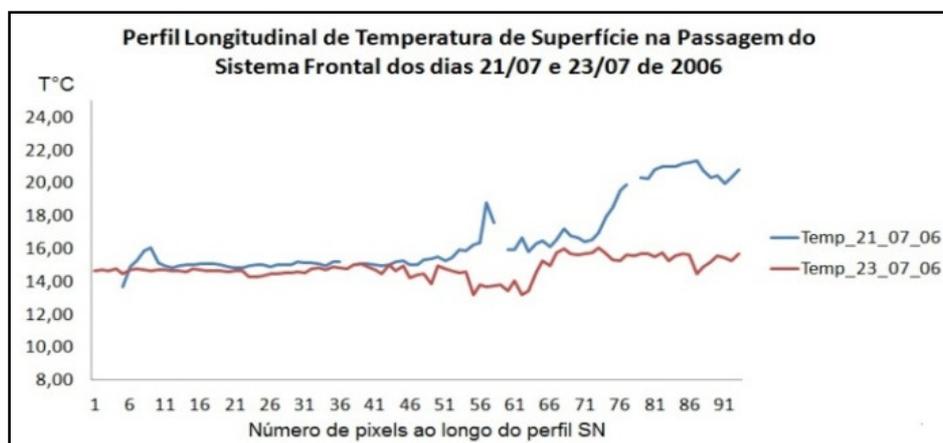


Figura 39 – PL na passagem do 7º SF.

8ª Frente fria e 9ª Frente fria (agosto/06)

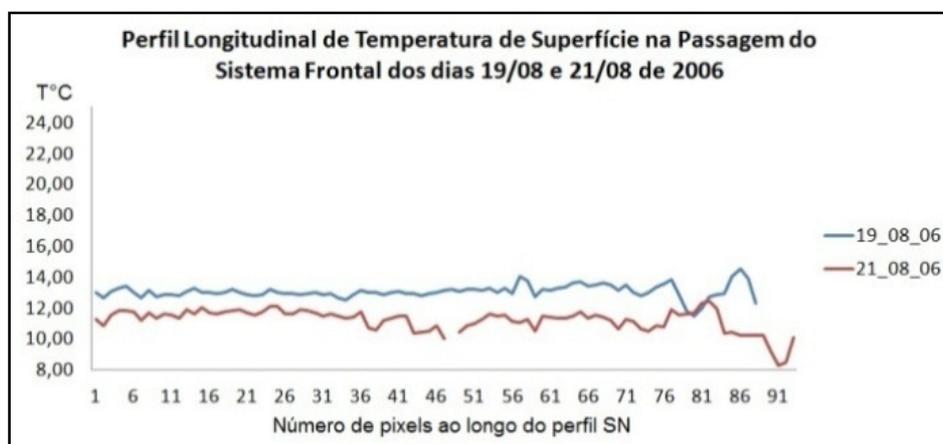


Figura 40 – PL na passagem do 8º SF.

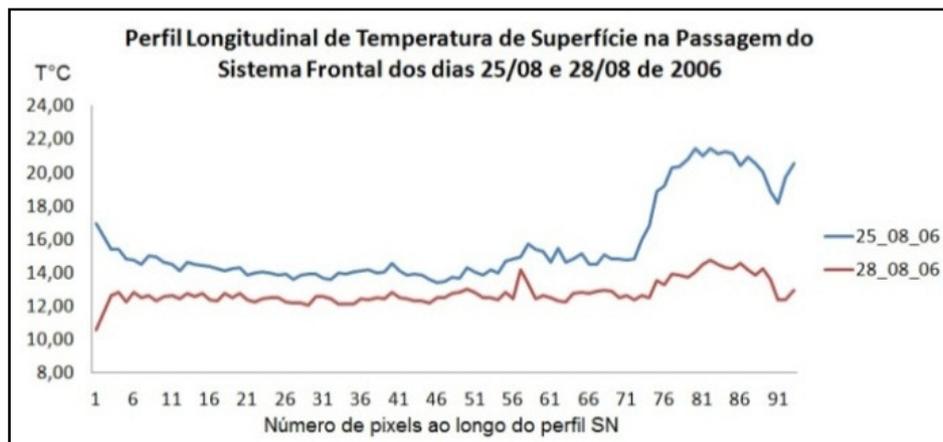


Figura 41 – PL na passagem do 9º SF.

Analisando a velocidade e a direção do vento juntamente com a Temperatura Ambiente (TA °C) nos períodos de passagem das frentes frias de inverno, observa-se que a primeira entrada de frente inicia com vento norte (3 a 4m/s) e TA(°C) altas (18 a 26°C) (Tabela 8 e Figura 33). Neste caso, a TSL apresenta pouca flutuação, CV de 4,3% (Tabela12). Na saída desta frente, observa-se baixa da TA(°C) e queda da TSL ao longo de todo PL, apresentando grandes flutuações que geraram CV de 9,41%. A segunda frente fria, Figura 34 é marcada pelo vento Norte fraco (1 a 2 m/s) TA(°C) variando de 14 a 20°C. Na saída desta frente, o vento aumenta sua velocidade (7 a 8m/s) e ocorre decréscimo da TA(°C) (Tabela 8) e a TSL diminui, média de 12,75°C (Figura 34). Na terceira frente fria observa-se baixa velocidade do vento, tanto na entrada como na saída da frente (Figura 35 e Tabela8). Nesta situação ocorre o meandro direcional, situação em que o vento sopra em diferentes quadrantes e não define uma direção. A TSL apresenta pouca variação nesta terceira frente fria, como pode ser observado pela média de 14°C, na entrada e na saída da frente (Tabela13). A quarta entrada de frente fria (Figura 36), inicia com uma magnitude de vento NW variando entre 5 e 7m/s. Neste processo a TSL apresenta média de 17,35°C e CV de 17%. Esta alta TSL pode ser associada com TA(°C) altas variando de 19 a 27°C. Por outro lado, a saída desta frente caracteriza-se por ventos mais fracos, da ordem de 3m/s e TA(°C) mais baixa, gerando queda da TSL e menor variação ao longo do perfil SN.

Durante a passagem da quinta frente fria (Figura 37), ocorre predominância de vento NW fraco com velocidade variando entre 1 a 2m/s e TA(°C) baixas. A saída desta frente é marcada pela mudança da direção do vento NW/SW ainda fraco com queda da TA(°C), gerando pequena queda da TSL.

A sexta frente fria (Figura 38) mostra, particularmente, que a TSL aumenta após a passagem da frente fria na região central da lagoa. Comparando este resultado com os valores exibidos na Tabela 8, observa-se que a direção e a velocidade do vento, NW/NE, da ordem média de 4,2 m/s, durante este evento, provocaram as maiores flutuações nas medidas da TSL, com CV da ordem de 23,19%. Ainda, analisando-se a TA(°C) para este evento observam-se temperaturas altas, com média de 16,7°C. Este fenômeno de aumento da TSL na saída da frente fria pode ser explicado pela alta temperatura ambiente constante ocorrida desde o início da chegada da frente. Neste caso, o tempo de relaxação de resposta da TSL não foi suficiente para que ocorresse o resfriamento da água, na saída desta frente fria.

A sétima frente fria, observada na Figura 39, apresenta pouca variação da TSL tanto na entrada como na saída da frente. Observa-se na Tabela 8, vento fraco caracterizado durante toda a passagem da frente como meandro direcional. A TA(°C) apresenta-se com pouca variação, com média de 16°C. O CV de 13,07% justifica-se pelo aumento súbito da TSL ao norte da lagoa influenciada pelo banhado do Taim.

A oitava frente fria (Figura 40) a TSL é influenciada pelo vento NW e SW forte na entrada e saída da frente, respectivamente, média de 6m/s e TA(°C) baixas, média de 9,8°C durante toda a passagem do sistema frontal. A TSL sofreu queda na saída desta frente da ordem média de 2°C e gerou maior variação, CV de 6,42%.

Durante a passagem da nona frente fria (Figura 41), ocorre predominância de vento SW com velocidade variando entre 2 a 6m/s, ocorrendo a terceira maior variação da TSL, CV de 15,9% na entrada da frente. A saída desta frente é marcada pelo vento SW com magnitude máxima de 7m/s gerando queda da TSL ao longo de todo percurso SN da lagoa.

Os resultados remotos observados para a temperatura superficial deste corpo de água nos meses de inverno mostram que os ventos fortes e a TA(°C) tendem a influenciar de forma a gerar maiores variações na TSL ao longo do perfil. As maiores flutuações da TSL estão sob a influência dos ventos mais fortes para os meses de inverno e para TA(°C) altas.

A passagem do 4º sistema frontal, Figura 36, mostra aumento da variação da TSL na entrada da frente, apresentando CV de 17,0 %. A medida que o vento diminui, a TSL sofre queda e se estabiliza baixando seu CV para 3,41%. No 6º sistema frontal, Figura 38, observa-se a maior variação da TSL, CV de 23,19 % na entrada da frente fria caracterizada por ventos da ordem de média de 4 m/s e TA(°C) média de 16,7°C. Na passagem do 5º e 7º sistemas frontais, Figuras 37e

39, respectivamente, também é observado na entrada e saída das frentes, menor variação da TSL associada com a baixa velocidade dos ventos da ordem de 1 e 2 m/s. Nestas situações, a energia do vento não gera movimentos turbulentos ondulatórios capazes de criar a mistura da coluna do corpo de água. Neste caso, não ocorrendo movimentos turbulentos a TSL se estabiliza. Assim, o efeito observado das altas variações da TSL associado com os ventos fortes e altas TA(°C) pode ser explicado pelo energia do vento que gerou movimentos turbulentos na superfície, que por sua vez gerou os movimentos das correntes de fundo ocasionando a mistura das colunas de água. Desta forma, a TSL da superfície se torna mais instável no momento da captura da TSL pelo sensor MODIS.

5.3 DISCUSSÃO GERAL

Os dados de emissividade do sensor MODIS (plataforma EOS-TERRA) mostraram-se adequados para o cálculo de temperaturas superficiais de lagoas costeiras, propiciando uma avaliação dos efeitos de mudanças climáticas, cujo comportamento pode influenciar diferentes espécies biológicas presentes.

Os resultados evidenciaram que a passagem de um Sistema Frontal modifica a Temperatura Superficial da Lagoa (TSL). O processo de mudança da TSL está associado às interações micrometeorológicas da área de estudo. A investigação revela que existe uma relação entre os valores observados da temperatura superficial da lagoa com o vetor velocidade do vento (direção e magnitude) e com a TA(°C). Essa relação é evidenciada no período de verão e no período de inverno. Os resultados revelaram que a TSL diminui após a passagem das frentes fria em ambos os períodos estudados. O teste de hipótese, a partir do teste *t*, comprova que a diminuição da TSL, após a passagem das frentes frias, é significativa para a maior parte das frentes analisadas (Tabelas 11 e 14). A média da TSL, antes da passagem da frente fria para o período de verão, é de 22°C e após a passagem da frente fria é de 20°C. Para o período de inverno a média da TSL antes da passagem da frente é de 14°C e após a passagem da frente é de 13°C. As saídas das frentes frias provocam no verão uma diminuição média da TSL de 2° e, no inverno, uma diminuição média de 1°C.

Em relação aos ventos, a presença de ventos fortes, com direções bem definidas, provoca grandes flutuações nas medidas da TSL. Estas advecções robustas, com magnitudes variando entre 5 e 8m/s, são direcionalmente persistentes, ou seja, os ventos apresentam durante horas direções preferenciais consolidadas. Neste caso, as maiores flutuações de temperatura são consequência da turbulência da água, ocasionando assim maior instabilidade da TSL na superfície. No período de verão estas flutuações são maiores do que no inverno, pois o vento apresenta maiores velocidades em períodos quentes, como pode ser observado através dos dados meteorológicos na Tabela 8. No período do verão, a maior variação da TSL é exibida na saída da terceira frente fria (Tabelas 9 e 10). Esta passagem de frente está influenciada pela maior média de velocidade do vento (5,8m/s) do período verão e TA(°C) elevada (média de 20,7°C) na saída da frente fria.

Observa-se que os ventos são mais fracos no inverno, conforme mostra a Tabela 8. Além disso, verifica-se que os ventos com velocidades mais altas no inverno estão associados com altas TA(°) no maior número de frentes frias (1ª, 2ª, 4ª, 6ª, 8ª e 9ª) de inverno, Tabela 8.

Analisando-se a TA(°C), este estudo mostra que no mês de dezembro as TA(°C) são mais elevadas após as passagens das frentes frias, Tabela 8. Neste caso, constata-se que todas as saídas das frentes frias de verão provocaram as maiores flutuações da TSL em relação às entradas das frentes, Tabelas 9 e 10. Nas frentes frias de inverno, constata-se o comportamento inverso da TA(°C) em relação às frentes de verão. As TA(°C) no inverno são mais altas nas entradas das frentes frias e baixam na maioria dos casos em mais de 5°C nas saídas das frentes, Tabela 8. A única frente fria que não seguiu este comportamento foi a terceira frente fria de inverno, que neste caso, apresenta TA(°C) mais elevada na saída da frente, 16,2 °C.

Desta forma, considerando os dois períodos estudados, verão e inverno, os resultados revelam que para os ventos mais fortes e TA(°C) mais elevadas ocorre maior variação da TSL. Nestes casos, este escoamento de ar quente turbulento provocado pelo vento, logo acima da lagoa, transfere energia para a superfície da água gerando turbulência e ondas. Como consequência, esta turbulência na superfície da lagoa pode ser o processo físico responsável por provocar as flutuações observadas na TSL. Entretanto, quando a TA(°C) apresenta valores baixos e a magnitude do vento é fraca, em curtos períodos de tempo, a sua direção apresenta uma grande variação. Tal fenômeno é conhecido como o meandro direcional horizontal do vento. Neste caso, as baixas velocidades do vento (advecção fraca), não geram turbulência atmosférica suficiente para gerar movimentos na superfície

de água da lagoa. Este desacoplamento de energia, entre o contorno que separa os dois fluídos (ar e água), impede a geração de ondas e turbulência na superfície de água da lagoa. Neste caso, as flutuações de temperatura superficial observadas são reduzidas.

6 CONCLUSÕES

Neste estudo, medidas remotas da temperatura superficial da lagoa Mangueira são apresentadas e discutidas. As medidas são realizadas durante as passagens de treze sistemas frontais frios, quatro no verão e nove nos meses de inverno. A investigação emprega imagens orbitais associadas a dados de vento e de temperatura ambiente em uma estação meteorológica de superfície na passagem de sistemas frontais. A determinação de temperaturas superficiais de lagoas costeiras, além de ser importante para avaliar os efeitos de mudanças climáticas, fornece as variações de temperatura que podem influenciar diferentes espécies biológicas presentes no ambiente da lagoa. A presente análise mostra que, a temperatura superficial diminui após as passagens dos sistemas frontais. As medidas de temperatura de superfície são obtidas a partir da conversão das variáveis de emissividade registradas pelo sensor MODIS, e permitem identificar as mudanças da TSL e também identificar os escoamentos de água contendo diferentes materiais originados de ambientes aquáticos distintos da lagoa Mangueira, como o caso do banhado do Taim. A identificação de mudanças em corpos d'água e dos aspectos sobre a estrutura destes, relacionada às perturbações externas como a passagem de sistemas frontais é de valiosa contribuição no monitoramento desses ecossistemas aquáticos. Compreender o impacto da passagem de um SF sobre a estrutura de um ecossistema em lagos é uma tarefa extremamente delicada, devido à elevada complexidade dos fenômenos naturais. Os resultados podem ser muitas vezes incertos. Entretanto, a presente análise mostra que o método de medidas remotas de temperatura superficial em lagoas, obtidas pelo sensor MODIS, se mostra como uma ferramenta viável e eficiente para estabelecer relações entre fatores meteorológicos e fatores ambientais durante a passagem de sistemas frontais. O uso de imagens orbitais, considerando tais fatores, se revela como uma ferramenta de grande potencial. Além de possuir a capacidade de disponibilizar as medidas de forma rápida, o sensoriamento remoto permite a combinação de dados de ambientes aquáticos com dados de estações meteorológicas. Esse potencial de recobrimento sistemático e rápido, suprimindo informações neste local (lagoa Mangueira) de difícil acesso, e em outras áreas de regiões costeiras e oceânicas é de grande valia em pesquisas futuras que visam avaliar alterações ambientais ocorridas no tempo. Portanto, é evidente a importância da obtenção da medida de temperatura de superfície em corpos d'água, através de dados orbitais como um fator relevante no monitoramento ambiental de águas superficiais e no controle de mudanças climáticas.

Os resultados deste estudo apresentam um grande valor para se compreender as mudanças da temperatura de superfície na lagoa Mangueira na passagem de sistemas frontais. A partir desta

primeira verificação das mudanças da TSL, pode-se desenvolver trabalhos futuros com um maior aprofundamento relacionado à limnologia desta lagoa e à outros fatores meteorológicos que não foram considerados. A metodologia utilizada neste trabalho, a combinação de dados orbitais e meteorológicos, se mostra eficiente e condiz com os resultados obtidos considerando os aspectos da literatura. Entretanto, a acurácia dos dados orbitais não pode ser confirmada sem que ocorra a validação “*in loco*”. No entanto, a grande instabilidade meteorológica local não permitiu validação dos dados durante o desenvolvimento deste trabalho. É necessária uma embarcação adequada para navegar na lagoa Mangueira, que suporte mudanças bruscas na velocidade do vento e que possibilite realizar medidas com os equipamentos de forma estável e segura, sem interrupção do processo. Sugere-se como continuidade deste estudo coletas de dados de superfície da lagoa Mangueira, além de outros corpos de água em locais de maior estabilidade meteorológica, para posterior ajuste de erros de medidas e validação dos dados do sensor MODIS. A validação de dados de temperatura de sensores remotos permitirá seu uso como alternativa e complementação de informações de forma rápida, eficiente e de baixo custo, em locais onde com ausência de estações meteorológicas e/ou de difícil acesso.

7 ANEXOS

7.1 TRABALHOS PUBLICADOS E ACEITOS

7.1.1 Analysis of Remote Surface Temperature of a Coastal Lagoon in Southern Brazil during the Passage of Frontal Systems

7.1.2 Estudo da Temperatura Superficial de Lagoas Costeiras Através de Paraâmetros Meteorológicos e Dados de Sensoriamento Remoto

7.2 TRABALHO SUBMETIDO

7.2.1 Análise da Temperatura Superficial de Uma Lagoa Costeira Integrada com Dados Orbitais e Meteorológicos na Passagem de Sistemas Frontais

8 REFERÊNCIAS

- BARKER JL, HARDEN MK, ANUTA EA, SMID JE & HOUGHT D. 1992. **MODIS Spectral Sensivity Study: Requirements and Characterization**. Washington: NASA, 84 p.
- BERK, A., L. S. BERNSTEIN, and D. C. ROBERTSON, 1989, “**MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN7,**” Rep. GL-TR-89-0122, Air Force Geophys. Lab., Bedford, MA.
- BERK, A., L. S. BEMSTEIN, AND D. C. ROBERTSON, “**MODTRAN: A moderate resolution model for LOWTRAN,**” Rep. AFGLTR- 87-0220, Burlington, MA: Spectral Sciences, Inc., 1987.
- BETTS, A. K., J. H. BALL, A. C. M. BELJAARS, M. J. MILLER, and P. A. VITERBO, 1996: **The land surface–atmosphere interaction: A review based on observational and global modeling perspectives.** *J. Geophys. Res.*, **101**, 7209–7225.
- BROWNING, K. A., 1985: **Conceptual models of precipitation systems.** *Meteor. Mag.*, **114**, 293-319.
- CARLSON, T. N., 1991: *Mid-Latitude Weather Systems*. HarperCollins Academic, 507 pp.
- CASTELLO, J.P. and MÖLLER JR, O. O. 1978. **On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of Patos Lagoon** (Rio Grande do Sul, Brasil). *Atlântica*, 3: 67-74.
- CIOTTI, A.M., ODEBRECHT, C., FILMANN, G., MÖLLER JR, O. O. **Freshwater outflow and subtropical convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazil shelf.** *Continental Shelf Research*, v. 15, n. 4, p. 1737-1756, 1995.
- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 20 – n° 12, dezembro/2005. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5 <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em setembro de 2012.
- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 20 – n° 05, maio/2005. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5 <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em maio de 2013.

- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 20 – n° 07, Julho/2005. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5 <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em maio de 2013.
- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 20 – n° 08, agosto/2005. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5 <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em maio de 2013.
- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 21 – n° 06, Junho/2006. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5 <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em maio de 2013.
- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 21 – n° 07, julho/2006. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5 <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em maio de 2013.
- CLIMANÁLISE, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Vol. 21 – n° 08, agosto/2005. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 1986. Publicação Mensal. ISSN 0103-0019 CDU-555.5. <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0806.shtml> acessado em maio de 2013.
- CORDAZZO, C.V.; SEELIGER, U. 1987. **Composição e distribuição da vegetação nas dunas costeiras ao sul de Rio Grande (RS)**. Ciência e cultura, 39(3): 321-324
- Cornette, W. M., P. K. Acharya, D. C. Robertson, and G. P. Anderson, “**Moderate spectral atmospheric radiance and transmittance code (MOSART)**,” Rep. R-057-94(11-30), La Jolla, CA: Photon Research Associates, Inc., 1994.
- COUTINHO, R. and SEELIGER, U. 1986. **Seasonal occurrence and growth of benthic algae in the Patos Lagoon Estuary, Brazil**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 23:889-900.
- DANTAS, A.P. **Avaliação limnológica de parâmetros morfométricos em lagos e represas**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, 2000
- DELANEY PJV (1965) **Fisiografia e geologia da superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul**. Publ Esp Esc Geol Univ Fed Rio Grande Sul (Porto Alegre) 6:1-63 de Buen F (1952) El tiburón vitamínico. Revta Fac Human Cienc (Montevideo) 7:87-116 de

- Menezes MF (1972) As tartarugas marinhas do Brasil. *Arq Cienc Mar (Fortaleza)* 12(1):17-20
- DOUSSET B, GOURMELON F. 2003. **Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover.** *ISPRS J Photogram Remote Sensing* 58:43–54.
- DOZIER, J., and Z. WAN (1990), **Development and application of remote sensing in environmental monitoring and research in China,** *China Exchange News*, 18, 18-22.
- FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica.** Pelotas: Ed. Universidade Federal de Pelotas, v. 1, p. 259, 1999.
- FORTUNE MA, KOUSKY VE (1983) **Two severe reezes in Brazil: precursors and synoptic evolution.** *Mon Weath Rev* 111:181-196
- FRAGOSO JR., CR; MOTTA MARQUES, DML.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, CEM.; van NES, EH. (2008) **Modelling spatial heterogeneity of phytoplankton in Lake Mangueira, a large shallow subtropical lake in South Brazil.** *Ecological Modelling* 219, 125-137.
- GAN, M. A (1992) **Ciclogênese e ciclones sobre a América do Sul.** Tese de Doutorado, Inst Nac Pesq Espaciais, São José dos Campos, Brasil
- GODOLPHIN MF (1976) **Geologia do Holoceno costeiro do município de Rio Grande-RS.** Tese de Mestrado, Uni Fed Rio Grande Sul, Brasil
- HARROLD, T.W., 1973: **Mechanisms influencing the distribution precipitation within baroclinic disturbances.** *Q. J. Roy. Met. Soc.*, V. 99, N. 421, 232-241.
- HARTMANN C, SANO EE, PAZ RS, MÖLLER OO JR (1986) **Avaliação de um período de cheia (junho de 1984) na região sul da Laguna dos Patos, através de dados de sensoriamento remoto, meteorológicas e oceanográficas.** *Anais IV Simp Bras Sens Remoto*, 10-15 agosto Gramado, pp 685-694.
- HUNT, G. E., I. P. GRANT, 1969: **Discrete Space Theory of Radiative Transfer and its Application to Problems in Planetary Atmospheres.** *J. Atmos. Sci.*, 26, 963–972.
- JOÃO Zanetic, ERIKA R. Mozena **Evolução dos Conceitos de Física** – volume 1 – Instituto de Física – São Paulo – 2007 – pág. 137-165.
- JUSTICE, C. O., TOWNSHEND, J. R. G., VERMOTE, E. F. MASUOKA, E., WOLFE, R. E., SALEOUS, N., ROY, D. P., MORISSETE, J. T. **An overview of modis land data processing and product status.** *Remote Sensing of Environment*, n.83, p 3 – 15, 2002.
- KERR, Y.H., J.P.; LAGOUARD, J.; IMBERNON, I. **Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved spit-window.** *Remote Sensing of Environment*, v.. 41; p. 197-209. 1992

- KNEIZYS, F. X., SHETTLE, E. P., GALLERY, W. O., et al. (1983), **Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOW- TRAN6**, Report No. AFGL-TR-83-0187, Air Force Geo- phys. Lab., Hanscom AFB, MA 200 pp.
- KNEIZYS, F. X., SHETTLE, E. P., ABREU, L. W., et al. (1988), **Users' Guide to LOWTRAN7, Report No. AFGL-TR-88-0177, Air Force Geophys. Lab., Hanscom AFB, MA, 138 pp.**
- KOUSKY, V. E, Ferreira, N. J (1981) **Interdiurnal surface pressure variations in Brazil: their spatial distribution, origins and effects.** *Mont Weath Rev* 109:1999-2008
- LIANG, S., (2004), **Canopy and soil radiative transfer modeling, in Reflection properties of vegetation canopy and soil with a BRDF database**, (ISBN 3-89685-565-4), ed. by M. Scholarmark, Wissenschaft und Technik Verlag, 71-78.
- LILLESAND T.M., KIEFER R. W. (1994). **Remote Sensing and image interpretation**, 3 ed. Pul. Wiley.
- LI, S., Z.WAN, AND J. DOZIER, “**A component decomposition model for evaluating atmospheric effects in remote sensing,**” *J. Electromag. Waves Applic.*, vol. 1, no. 4, pp. 323-347, 1987.
- MCCLAIN, E. P., W. G. PICHEL and C. C. WALTON (1985): **Comparative performance of A VHRR-based multichannel sea surface temperatures.** *J. Geophys. Res.*, **90**, 11587–11601.
- MENZEL, W.P. and J.F.W. PURDOM, 1994: **Introducing GOES-I: The first of a new generation of geostationary operational environmental satellites.** *Bull. Amer. Met. Soc.*, **75**, 757-781.
- MOHSENI O. AND STEFAN H.G., **Water budgets of two watersheds in different Climatic zones under projected climate warming,** *Climate Change*, v. 49, pp. 77-104, 2001.
- MOHSENI, O., H. G. STEFAN, and J. G. EATON. 2003. **Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams.** *Climate Change* 59:389-409.
- MONTEIRO, C.A.F. **Clima. Grande Região Sul.** Rio de Janeiro: IBGE. v.4, t.1, p-114-166. 1968.
- NASA. Site Modis Land. **Disponível em <http://modis-land.gsfc.nasa.gov>.** Acessado em janeiro de 2012. NASA. Site de aquisição das Imagens do produto Mod11. **Disponível em <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb>.** Acessado em dezembro de 2011.
- NOBRE CA, CAVALCANTI MAG, NOBRE P, KAYANO MT, RAO VB, BONATTI JP, SATYAMURTI P, UVO CB, COHEN JC (1986) **Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. Climanálise número especial.**

- OLIVEIRA, L.L.; VIANELLO, R.L.; FERREIRA, N.J. **Meteorologia Fundamental**. Erechim: EdIFAPES, 2001. 432 p.
- PAZ, R. S (1985) **Fatores meteorológicos e sua influência ecológica: um exemplo no sistema estuarial da Lagoa dos Patos**. Anais III Encontro Brasil Gerenciamento Costeiro. Univ Fed Ceará, Fortaleza, pp 301-311
- RODRIGUES, L. H. R. (2009) PhD Thesis. **Reguladores da dinâmica das comunidades planctônicas e íctica em ecossistemas límnicos subtropicais. Postgraduate program in water quality management and environmental sanitation, instituto de pesquisas hidráulicas, universidade federal do rio grande do sul**. Porto Alegre, Brazil.
- RUNNING, S. W., LOVELAND, T. R., PIERCE, L. L. and HUNT. E. R. JR., 1994. **A remote sensing based vegetation classification for global land cover analysis**. Remote Sensing of Environment (in press).
- RYAN, B.F.; WILSON, K.J.; GARRAT, J.R.; SMITH, R.K. **Cold Fronts Research programme: progress, future plans, and research directions**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 66, n. 9, p. 1116-1122, 1985.
- SALISBURY, J. W., AND D'ARIA, D. M., 1994, **Emissivity of terrestrial materials in the 3-5 μm atmospheric window: Remote Sensing of Environment**, v. 47, p. 345-361.
- SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H. **Solar Zenith angle Effects on Forest Canopy Hemispherical Reflectances calculated with a Geometric-Optical Bidirectional Reflectance Model**. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, v.31, n.4, p. 921-927 July 1993.
- SEMENOV, V.N. AND BERMAN, I.S. (1977). **Biogeografic aspects of the distribution and dynamics of the water masses off South American coast**. Oceanology 17(6): 710-718.
- SEMENOV VN (1978) **Geographical distribution of benthos on the South American shelf as a function of the distribution of coastal waters**. Oceanology 18(1):77-87
- SMITH, W. L., H. M. WOOLF, AND A. J. SCHRIENER, “**Simultaneous retrieval of surface and atmospheric parameters: a physical and analytically direct approach,**” in **Advances in Remote Sensing Retrieval Methods**, ed. A. Deepak, H. E. Fleming, and M. T. Chahine, pp. 221-232, Hampton, Va., USA: A. Deepak Publishing, 1985.
- SNYDER, W. AND Z. WAN, “**BRDF models to predict spectral reflectance and emissivity in the thermal infrared,**” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 36, no. 1, pp. 214-225, 1998.
- SNYDER, W., Z. WAN, Y. ZHANG, AND Y.-Z. FENG, “**Thermal infrared (3-14 mm) bidirectional reflectance measurements of sands and soils,**” *Remote Sens. Environ.*, vol. 60, pp. 101-109, 1997b.

- STECH, J. L (1990) **Um estudo comparativo da dinâmica de circulação de inverno entre as plataformas continentais das costas sudeste do Brasil e dos Estados Unidos utilizando um modelo numérico**. Tese de Doutorado, Univ S Paulo, Brasil
- STECH JL. and LORENZETTI JA., 1992. **The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts**. *Journal Geophysical Research*, vol. 97, no. 66, p. 9507-9520.
- STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. (1999). **MODIS Land Cover and Land-Cover Change products algorithm theoretical basis document (ATBD)**. Version 5.0, Center for Remote Sensing, Department of Geography, Boston University, May, 72p.
- TOMMAZELLI, L.J (1993) **Regime dos ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil**. *Pesquisas (Porto Alegre)* 20(1):18-26
- TUNDISI, JG.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; LUZIA, AP.; PASOERINI, MO.; CHIBA, W.; SEBASTIAN, NY. **Cold fronts and reservoir limnology: an integrated approach towards the ecological dynamics of freshwater ecosystems**. *Brazilian Journal of Biology*, v. 70, p. 815-824, 2010.
- USTIN S L (2004) **Remote Sensing for Natural Resource Management and Environment Monitoring**. Third Edition, Volume 4, Pages 403-446.
- VIANELLO L. R.; ALVES A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 1991. p. 1-446.
- VIEIRA, Eurípedes F.; RANGEL, Suzana. 1998. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica**. Porto Alegre: Sagra.
- VON SPERLING, M. **Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilisation ponds**, *Water Research* 33 (6), 1435-1448. 1999.
- VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Vol. 3. Lagoas de Estabilização. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2002. 196 p.
- WAN, Z. and J. DOZIER, ‘‘**Land-surface temperature measurement from space: physical principles and inverse modeling**,’’ *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 27, no. 3, pp. 268-278, 1989.
- WAN, Z., and J. DOZIER (1996), **a generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space**, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34, 892-905, doi: [10.1109/36.508406](https://doi.org/10.1109/36.508406).
- WISCOMBE, W. (1976). **Extension of the Doubling Method to inhomogeneous sources** *J. Quant. Spectr. and Rad. Trans.*, 16, 477-489

WISCOMBE, W. and EVANS, J. (1977). **Exponential-sum fitting of radiative transmission functions** *J. Comp. Phys.*, 24, 416-444

ZELTZER, F. (1976) **Geologia e paleogeografia da restinga da Laguna dos Patos, RS**. Tese de Mestrado, Univ Fed Rio Grande Sul, Brasil