



Universidade do Estado do Amazonas

Escola Superior de Tecnologia

Bacharelado em Meteorologia

Trabalho de Conclusão de Curso

CONSTRUÇÃO DE CAMPOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DE RIOS PARA INSERÇÃO EM MODELOS DE MESOESCALA

Lourdes Gabriela Vieira Batista

Manaus – AM
2019

LOURDES GABRIELA VIEIRA BATISTA

**CONSTRUÇÃO DE CAMPOS DE TEMPERATURA
DA SUPERFÍCIE DE RIOS PARA INSERÇÃO EM
MODELOS DE MESOESCALA**

Monografia de conclusão de curso, apresentado à Coordenação de Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof^o. Dr. José Augusto Paixão Veiga

Manaus – AM
2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

P333c Batista, Lourdes Gabriela Vieira
Construção de campos de temperatura da superfície de rios para inserção em modelos de mesoescala / Lourdes Gabriela Vieira Batista. Manaus : [s.n], 2019.
42 f.: color.; 31 cm.

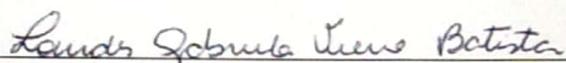
TCC - Graduação em Meteorologia - Bacharelado -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2019.
Inclui bibliografia
Orientador: José Augusto Paixão Veiga

1. Construção de TSR. 2. Previsibilidade. 3.
Amazônia. I. José Augusto Paixão Veiga (Orient.). II.
Universidade do Estado do Amazonas. III. Construção de
campos de temperatura da superfície de rios para inserção
em modelos de mesoescala

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

LOURDES GABRIELA VIEIRA BATISTA

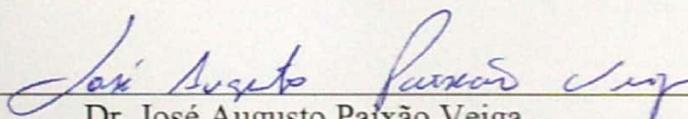
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Meteorologia da Universidade do Estado do Amazonas, como um dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.



Lourdes Gabriela Vieira Batista

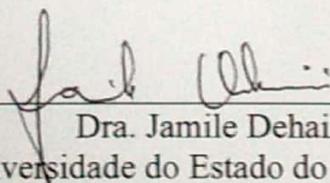
Data de aprovação: Manaus/AM, 05 / 12 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



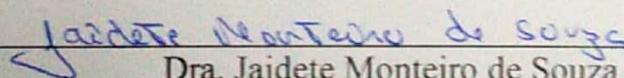
Dr. José Augusto Paixão Veiga

(Orientadora – Universidade do Estado do Amazonas)



Dra. Jamile Dehaini

(Universidade do Estado do Amazonas)



Dra. Jaidete Monteiro de Souza

(Universidade do Estado do Amazonas)

Agradecimentos

Primeiramente a Deus que sempre guiou e guia meus passos e meus caminhos.

A minha família, que mesmo de longe, torceu, rezou, sorriu e chorou junto comigo. Em especial à D.Carmelita (minha mãezinha linda), ao Sr.José (meu paizinho) e à Silvia (minha Leninha) por todas vezes que me seguraram quando eu pensei em cair.

Ao Prof. Dr. José Augusto e Prof. Dr. Luis Cândido, pela orientação e conhecimentos compartilhados nesse trabalho; ao professor Jair Maia, pela concessão dos dados.

A todos os professores da meteorologia e do ciclo básico da UEA, em especial , o Prof.Dr. José Augusto, meu orientador, pela paciência, por conseguir tirar que havia de melhor em mim, me ensinar sobre a arte de escrever cientificamente, por me mostrar o quão incrível é a ciência e por segurar minha barra quando tudo parecia não dar certo.

Aos meus amigos da vida, presentinhos de Manaus, Raquel, Juliana , Pedro e Túlio que sofreram comigo e me apoiaram em cada pedacinho desses '50 anos' de faculdade.

À minha amiga Livia Fonseca, que foi essencial na minha formação, estudou, chorou e comemorou comigo cada etapa da graduação. Me deu apoio essencial em um momento muito difícil e sem ela essa realização talvez não fosse possível.

A todos meus amigos de graduação. À Ranyelli, minha amiga, gêmea, 'drupa' e anjo que Deus colocou no meu caminho; ao Adriano por toda ajuda e apoio; aos 'brothers do rock' Sarah, Thalita, Fernanda, Gustavo, Erilane, Djanir (Djotinha), Josyane (Josy), Prof. Rildo, Alcinei (Chico), Luan, Guilherme, Jean, Victor (Crazy) , Willy , Itamara e todos da meteorologia e Laboratório B9 que estiveram comigo nesses anos.

Aos meus amigos do trabalho que aceitaram milhares de trocas e fizeram possível a continuação no curso. Em especial ao Ten.Fabrizio, que sempre me incentivou e ajudou. Sempre enxergou o melhor em mim, acompanhou meu crescimento e me apoiou sempre que precisei, não me deixando desistir. Foi uma das pessoas essenciais para essa realização.

A todas as Tias do RU e da faxina, que sempre me acolheram com abraços, bolinhos, sorrisos e carinhos.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização desse trabalho, muito obrigada!

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo propor três métodos para construção de campos espaciais de temperatura da superfície de rios (TSR), a partir de informações remotas e in situ, para inserção em modelos de mesoescala. As informações remotas são provenientes dos satélites AQUA e TERRA que possuem frequência temporal irregular (01:30, 10:30, 13:30 e 22:30 hora local). Os dados in situ, por outro lado, são oriundos de uma estação meteorológica, instalada nas margens do Rio Negro, com frequência temporal regular. Para se construir os campos de TSR com frequência temporal regular de 1/1h (método 1 e 2), combinou-se as informações remotas e locais por meio de um fator de ponderação calculado em função do ciclo diurno da TSR observada. Os dados observados permitiram o aumento da frequência de dados de satélite e a construção de campos de TSR em alta resolução temporal (1/1h). Um dos métodos desenvolvidos para a criação de campos de TSR, utiliza apenas informações de satélites (método 3), visando locais em que não há informações in situ da temperatura da superfície. Apesar das limitações, os métodos aplicados na construção dos campos de TSR conseguiram representar as características dos rios e o comportamento da temperatura dentro do ciclo diurno. Embora apresente limitações relacionadas a variação temporal de temperatura, o método 2 foi o método que produziu campos de TSR com comportamento mais próximo das observações, tanto em relação à curva do ciclo diurno quanto aos valores de temperatura.

Palavras-Chave: *Construção de TSR, Previsibilidade, Amazônia.*

Sumário

1	Introdução	9
2	Objetivo	12
2.1	Objetivo Geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	Materiais e Métodos	13
3.1	Área de Estudo	14
3.2	Dados <i>in situ</i>	14
3.3	Dados de Satélite	15
3.4	Métodos de Interpolação e Construção dos Campos de TSR	16
4	Resultados e Discussão	24
4.1	Campos de TSR relativo ao método 1	25
4.1.1	Campos Espaciais de TSR	25
4.1.2	Ciclo diurno de TSR a partir do método 1	27
4.2	Campos de TSR relativo ao método 2	29
4.2.1	Campos Espaciais de TSR a partir do método 2	29
4.2.2	Ciclo diurno de TSR a partir do método 2	31
4.3	Campos de TSR relativo ao método 3	32
4.3.1	Campos Espaciais de TSR a partir do método 3	32
4.3.2	Ciclo diurno de TSR a partir do método 3	35
5	Conclusões	37
6	Referências	38

Lista de Figuras

1	Área escolhida para o estudo. Marcadores representam os rios Negro, Solimões e Amazonas.	14
2	Ponto da estação onde foram obtidos os dados observados de TSR.	15
3	Ilustração dos satélites AQUA e TERRA.	16
4	Esquema para o cálculo dos FP's. Na parte superior esquerda, a curva contínua representa a curva do ciclo diurno da TSR observada e a linha tracejada representa a TSR média do ciclo diurno. A direita, o modo como os fatores de ponderação foram calculados.	17
5	Esquema de construção de campos de TSR a partir do método 1.	18
6	Estratégia metodológica adotada para o método 1.	19
7	Estratégia metodológica adotada para o método 2.	20
8	Esquema de construção de campos de TSR a partir do método 2.	21
9	Esquema de construção de campos de TSR a partir do método 3.	22
10	Estratégia metodológica adotada para o método 3.	23
11	Campos médios de temperatura da superfície (agosto de 2008), para os quatro horários de passagem dos satélites AQUA e TERRA.	24
12	Campos de TSR (°C) construídos para os horários de 00h às 11h (método 1 - hora local).	26
13	Ilustração da temperatura média do ciclo diurno em conjunto com as curvas referentes aos fatores de ponderação, à TSR observada e à TSR construída a partir do método 1 para o ponto da estação, mostrando a influência do método na construção da TSR	28
14	Composição da Temperatura da superfície do rio (TSR) construída para pontos no rio Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e no local da estação (baixo rio Negro), com a TSR observada a partir do método 1. . .	29
15	Campos de TSR (°C) construídos para os horários de 00h às 11h (método 2 - hora local).	30
16	Composição da Temperatura da superfície do rio (TSR) construída para pontos no rio Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e no local da estação (baixo rio Negro), com a TSR observada a partir do método 2. . .	32
17	Campos de TSR (°C) construídos para os horários de 00h às 11h (método 3 - hora local).	34
18	Composição da Temperatura da Superfície do Rio (TSR) construída para pontos no rio Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e no local da estação (baixo rio Negro), com a TSR observada a partir do método 3. . .	36

1 Introdução

A previsão de tempo é uma área de extrema importância para a Meteorologia e tem sido o foco de pesquisas há algumas décadas. Atualmente, as previsões meteorológicas, abordam, não apenas a evolução determinística do dia-a-dia de padrões atmosféricos, mas também condições climáticas, podendo prever inclusive a ocorrência de eventos extremos (John M. Wallace, Peter V. Hobbs *et al.*, 2006). Portanto, a previsão de tempo contribui para prognosticar as condições atmosféricas, assim como seus impactos. Para os órgãos de meteorologia, torna-se necessário o aperfeiçoamento de modelos numéricos de previsão, de modo a garantir a destreza e a qualidade dos prognósticos. Assim, a evolução dos modelos numéricos de previsão permite que as tomadas de decisão, de setores como a agricultura e a aviação, sejam dadas com segurança. Além do mais, a sociedade tem demandado, cada vez mais, previsões confiáveis a fim de mitigar as consequências das condições de tempo adversas (Hollingsworth *et al.*, 2002).

Os impactos globais e regionais das condições atmosféricas e o crescimento da vulnerabilidade populacional em áreas de risco são uns dos fatores responsável pelo aprimoramento dos modelos. A melhoria das previsões de tempo já era discutida por Kalnay (2005), que apresentava a evolução da previsão numérica de tempo associada aos avanços tecnológicos e melhora na assimilação de dados. Tem-se que quanto maior a quantidade de informações meteorológicas inseridas no modelo, melhor a representação do estado real da atmosfera, e conseqüentemente melhores previsões são esperadas. De acordo com a autora, a utilização de métodos que melhor represente os processos físicos de pequena escala e a disponibilidade de dados também cooperam para o aperfeiçoamento dos prognósticos. Contudo, em algumas regiões, como a região norte do Brasil, a escassez de dados é alta. Assim, mesmo com os demais avanços, o resultado final dos modelos numéricos de previsão pode ser comprometido pela falta de informações.

A previsão numérica de tempo é um problema de valor inicial, isto é, dado uma estimativa do estado presente da atmosfera, o modelo consegue prever sua evolução (Kalnay, 2005). Assim, quanto maior o número de informações capaz de descrever o estado inicial da atmosfera, melhor será a performance dos modelos de previsão. O estado real ou presente da atmosfera é definido pelos dados obtidos das observações meteorológica, e, em locais com grande indisponibilidade de dados, a representação da atmosfera perde a qualidade, assim como a previsão.

A fim de suprir a escassez de estações de superfície e aumentar a disponibilidade de dados, pode-se utilizar também informações a partir de sensoriamento remoto, como por exemplo, o uso de dados de satélites. Essa utilização representa um avanço significativo na qualidade das análises e, conseqüentemente, na previsão de tempo (Herdies, D.L. *et al.*,

2007). Os satélites são equipados com sensores que podem inferir variáveis meteorológicas tais como, temperatura, umidade, radiação entre outras (Andreoli *et al.*, 2007). Sensores, do tipo termais, permitem inferir a temperatura de diferentes superfícies, trazendo aos modelos de previsão informações sobre a interação da radiação com essas superfícies.

A temperatura da superfície de rios (TSR) é um tipo de informação que pode ser aferida pelos sensores acoplados em satélites e inserida nos modelos de previsão. No entanto, os modelos negligenciam o ciclo diurno da TSR, e com isso, o contraste de temperatura entre os rios e o continente também são negligenciados. A representação correta dessas características pode melhorar a previsibilidade, principalmente, em relação a fenômenos de circulação local e seus impactos.

Visando melhorias na previsibilidade, a TSR a ser inserida em modelos numéricos de previsão pode ser construída por meio do acoplamento de dados de satélite com dados in situ. Esse conjunto de dados possibilita o aumento na frequência de dados de satélite quando as informações de satélites forem disponibilizadas em horários restritos. Há na literatura alguns trabalhos que utilizaram campos de TSR a partir de dados observados e dados de satélite para a inserção em modelos de previsão, a fim de melhorar as simulações numéricas em modelos de mesoescala (FARIAS,C.S.,2016 e Dos Santos, S.Z, 2019; Dos Santos *et al.*, 2019).

Há outro fenômeno de circulação local observado na região Amazônica que também pode ser analisado a partir de dados de TSR: a brisa fluvial (Marengo e Nobre, 2001). As circulações de brisas fluviais têm um papel importante na organização da convecção na Amazônia (de Oliveira e Fitzjarrald, 1993; Silva Dias *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2004), com influências mais intensas nas regiões em que a largura do rio é maior, tais como a região do rio Negro, próximo à Manaus. A circulação de brisa fluvial é uma característica notada nos grandes rios da Amazônia, que ocorre devido a diferente capacidade térmica entre a superfície do rio e a superfície do solo (Silva Dias *et al.*, 2004). As brisas fluviais na Amazônia foram estudadas por de Oliveira e Fitzjarrald, 1993, Silva Dias *et al.*, 2004 e Lu *et al.*, 2004. Nos estudos foi observado que durante os episódios de ventos alísios fracos, a brisa do rio Tapajós provocava um fluxo de oeste na margem leste, associado com uma frente de cumulus rasos. Com ventos alísios fortes, a brisa fluvial retarda o fluxo de leste sobre o rio e organiza linhas de nuvens a leste do rio. A circulação de mesoescala induzida pelo rio, foi interpretada nos estudos, por uma simulação numérica de alta resolução.

Como visto, estudos sobre a construção de campos de TSR ainda são limitados. Pela falta de estudos nesse âmbito, e visando previsões mais precisas, é extremamente necessário o estudo de diferentes métodos para a construção desses campos, principalmente na

região amazônica, que dispõe de inúmeros corpos d'água, como o rio Negro. Assim, criar campos de TSR a partir da combinação entre dados locais e estimativas de satélite por diferentes métodos, é o principal objetivo deste estudo.

2 Objetivo

2.1 Objetivo Geral

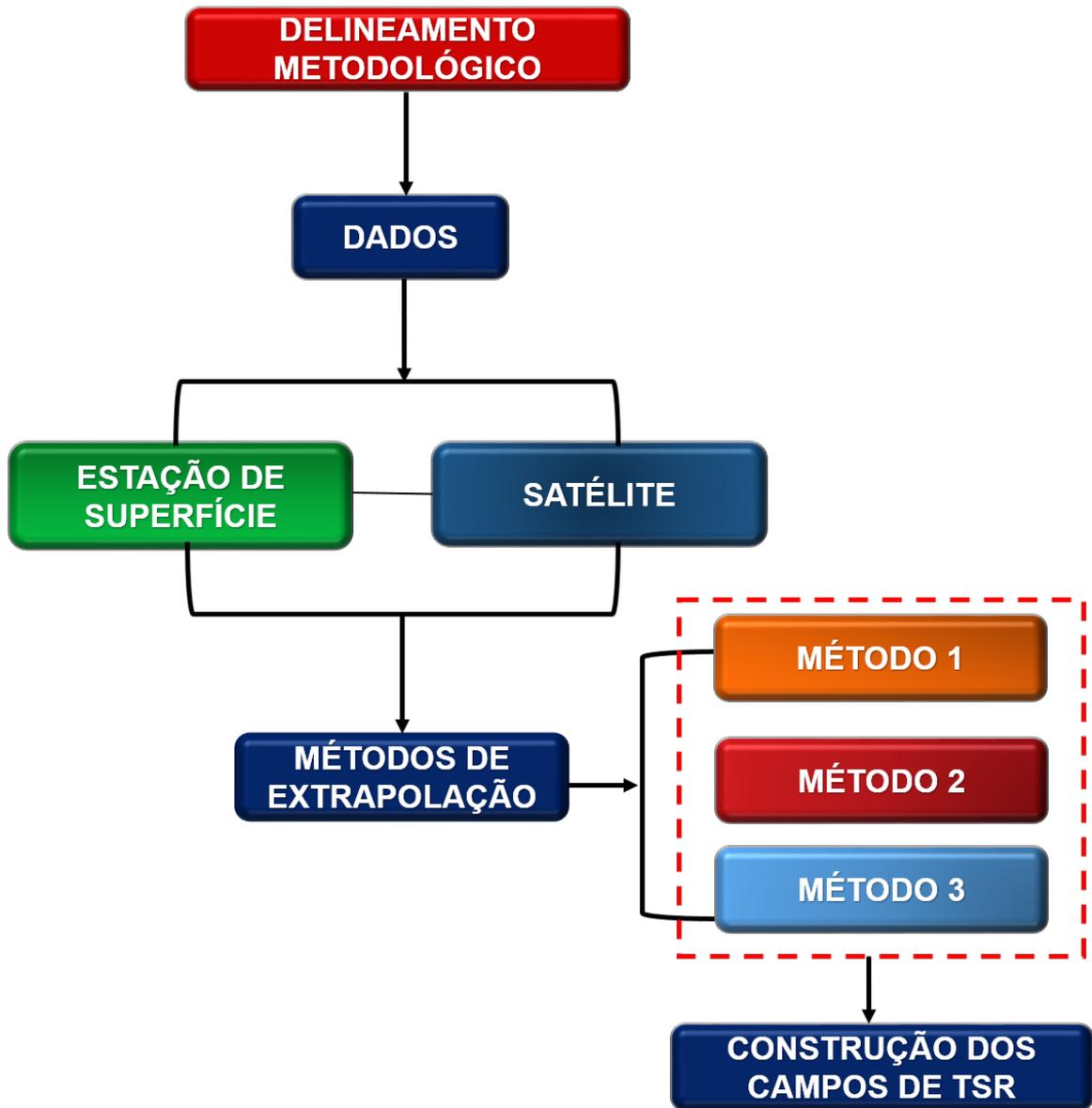
O presente estudo tem como objetivo principal elaborar técnicas para a criação de campos de temperatura da superfície do rio (TSR) baseado em dados remotos e *in situ* para inserção em modelos numéricos de mesoescala.

2.2 Objetivos específicos

- Criar campos espaciais de TSR baseados em estimativas de satélite e dados *in situ*;
- Criar campos espaciais de TSR baseados somente em estimativas de satélite;
- Criar perfis diurnos de TSR baseados em estimativas de satélite e dados *in situ*.

3 Materiais e Métodos

A fim de alcançar os objetivos do estudo, foram utilizados dados de estações meteorológicas e de satélites ambientais. Os dados foram combinados, por meio de técnicas de extrapolação, para formar um campo espaço-temporal de temperatura de superfícies de rios (TSR). Todo o delineamento metodológico pode ser visualizado na fluxograma abaixo.



3.1 Área de Estudo

A área de estudo refere-se à região da cidade de Manaus-AM, que compreende os rios Negro, Solimões e Amazonas, como ilustrado na Figura 1, sendo o rio Negro o foco principal do estudo. O rio Negro é um dos principais afluentes do rio Amazonas. Possui a extensão de aproximadamente 1.700 quilômetros, drena uma área correspondente a 10% dos 7 milhões de quilômetros quadrados da Bacia Amazônica e é responsável por 15% da água que ele deságua no Atlântico (Zeidemann, V. K, 2001).



Figura 1: Área escolhida para o estudo. Marcadores representam os rios Negro, Solimões e Amazonas.

Fonte: Google Earth

3.2 Dados *in situ*

Dados observados de TSR foram obtidos por meio de medidas realizadas na margem direita do baixo Rio Negro (Figura 2), por uma estação HOBBO instalada no período de março à dezembro de 2008 (MAIA *et al.*, 2010). Os dados foram registrados em frequência temporal horária. Para este estudo, utilizou-se amostra de um mês de dados, relativa ao mês de agosto de 2008, devido a qualidade dos dados disponibilizados.



Figura 2: Ponto da estação onde foram obtidos os dados observados de TSR.

Fonte: Google Earth

3.3 Dados de Satélite

Os dados de sensoriamento remoto utilizados neste estudo são relativos a temperatura da superfície (TS) para o mês de agosto de 2008, estimados pelo sensor MODIS, acoplado aos satélites ambientais AQUA e TERRA. O mês de agosto foi escolhido devido a disponibilidade dos dados observados. Os satélites AQUA e TERRA permitiram a obtenção de informações remotas de TS, disponibilizadas pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), através do EARTH DATA SEARCH, disponível em:

<https://search.earthdata.nasa.gov/search>. As informações possuem alta confiabilidade (Wan, 2007; 2008), e estão disponíveis em quatro horários referentes a passagem dos satélites sobre a cidade de Manaus. Os horários de passagem por Manaus são: 01:30 e 13:30 HL (Hora Local) para o satélite AQUA, e 10:30 e 22:30 HL para o satélite TERRA.



Figura 3: Ilustração dos satélites AQUA e TERRA.
Fonte:NASA

3.4 Métodos de Interpolação e Construção dos Campos de TSR

Para a construção dos campos espaço-temporais de TSRs a partir de estimativas de satélite e dados observados, foram elaborados três métodos de interpolação. Os métodos de construção foram adaptados de Dirmeyer e Tan (2001), que utiliza um processo de hibridação e técnicas estatísticas para aumentar a frequência de dados. O primeiro método (daqui em diante chamado método 1) consiste de quatro etapas, sendo as duas primeiras referentes a manipulação dos dados e as duas últimas à técnicas de interpolação e construção dos campos de TSRs.

Na primeira etapa, foram construídos campos médios mensais de temperatura da superfície com as informações dos satélites Aqua e Terra para os horários de passagem dos satélites pela região de estudo, totalizando quatro campos. Na segunda etapa, a partir dos dados de TSR da estação meteorológica, foram calculados a média mensal e o ciclo diurno médio mensal para o mês de agosto de 2008. Na terceira etapa, o ciclo diurno médio mensal de temperatura calculado previamente, foi utilizado para obter fatores de ponderação (FP's), elementos essenciais para a técnica de extrapolação utilizada para o aumento da frequência de dados. Os FP's foram obtidos aplicando-se a razão entre o valor da TSR do ciclo diurno médio em um determinado tempo t , t (T0 a T23), e o valor da temperatura média do ciclo diurno (T). Os FP's são números adimensionais que representam a importância do valor pontual da TSR dentro de uma média mensal. O esquema para o cálculo dos fatores de ponderação pode ser observado na Figura 4.

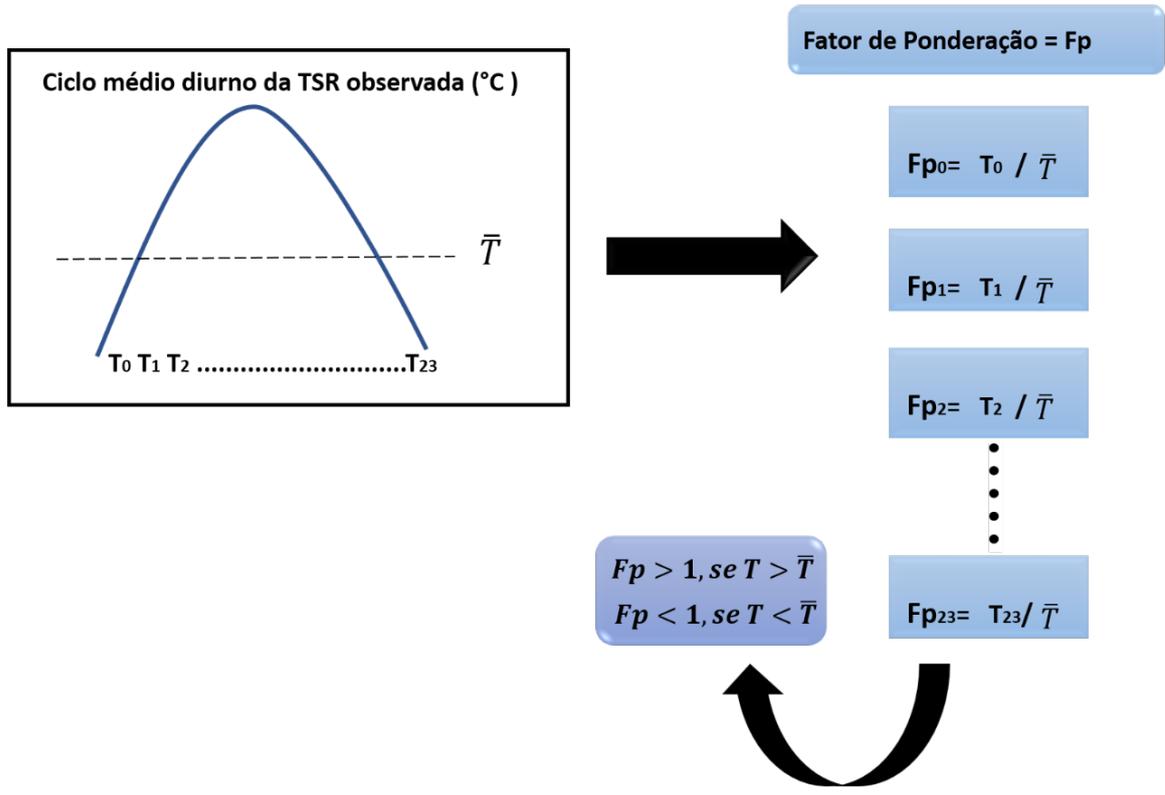


Figura 4: Esquema para o cálculo dos FP's. Na parte superior esquerda, a curva contínua representa a curva do ciclo diurno da TSR observada e a linha tracejada representa a TSR média do ciclo diurno. A direita, o modo como os fatores de ponderação foram calculados.

Uma vez realizadas as três etapas do método, como quarta etapa foram construídos os campos espaço-temporais de TSR. Para a construção dos campos, assumiu-se que a variação diurna da TSR obtida a partir dos dados da estação meteorológica, se aplica em outros pontos do Rio Negro, assim sendo possível utilizar os FPs para extrapolar os quatro campos espaciais de temperatura da superfície no espaço e no tempo. A extrapolação da TSR foi realizada a partir da multiplicação dos FPs pelos valores de temperatura da superfície dos campos espaciais, o que resultou em 24 campos espaciais de TSR com frequência horária (Figura 5). A visão geral do desenvolvimento do método 1, com todas as etapas realizadas neste método pode ser observada na Figura 6.

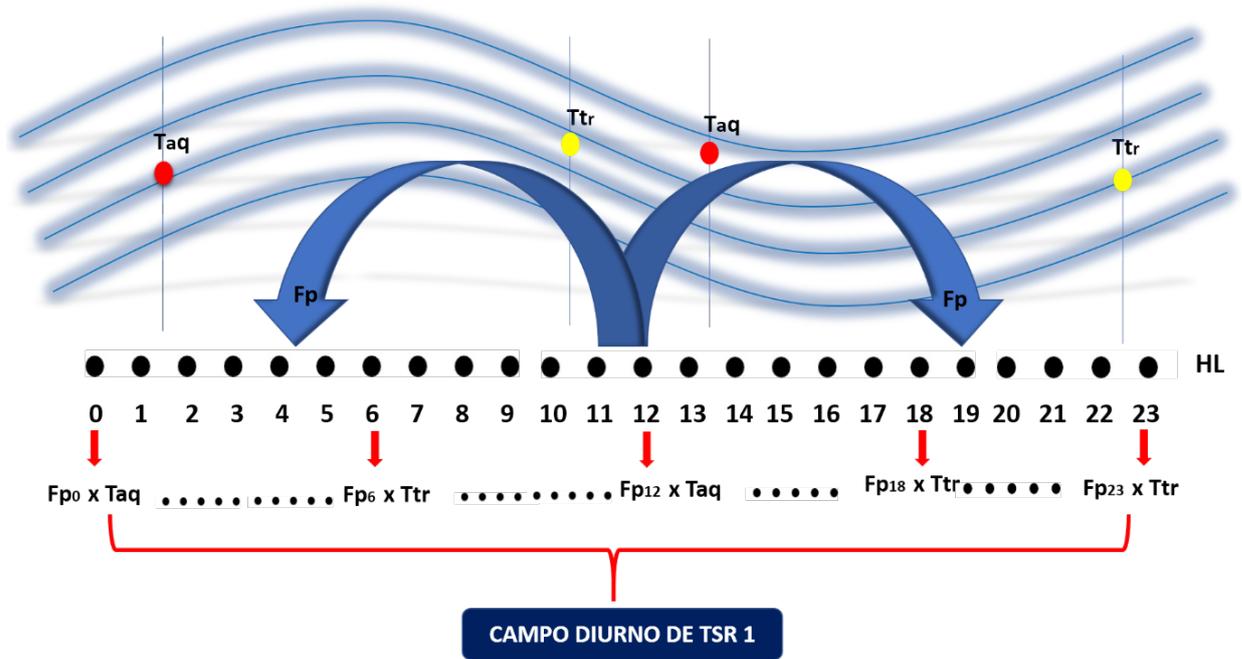


Figura 5: Esquema de construção de campos de TSR a partir do método 1.

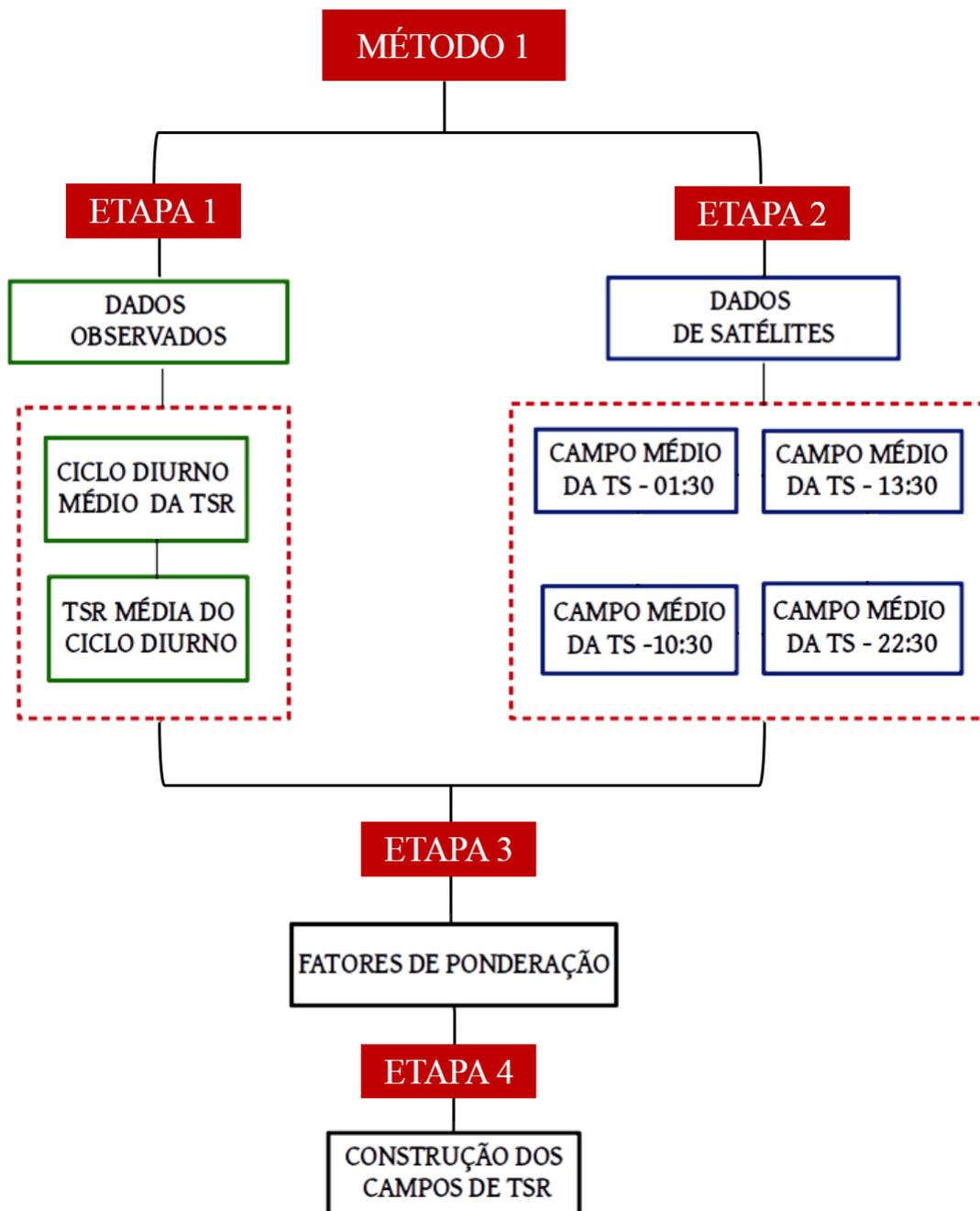


Figura 6: Estratégia metodológica adotada para o método 1.

O método 2 possui quatro etapas, com procedimentos semelhantes ao do método 1. A diferença entre estes dois métodos está na obtenção de campos médios intermediários de TS obtidos através do cálculo de médias entre os valores estimados para os horários de 01:30HL e 10:30HL, e 13:30HL e 22:30HL, totalizando seis campos médios mensais. Esse procedimento foi adotado para diminuir o intervalo de tempo entre os horários de passagem dos satélites. Após a obtenção desses campos intermediários, novamente foram aplicados os fatores de ponderação, previamente calculados, para a construção dos campos de TSR pelo método 2 (Figura 7). A estratégia metodológica para o método 2, com todas as etapas realizadas, é visualizada na Figura 8.

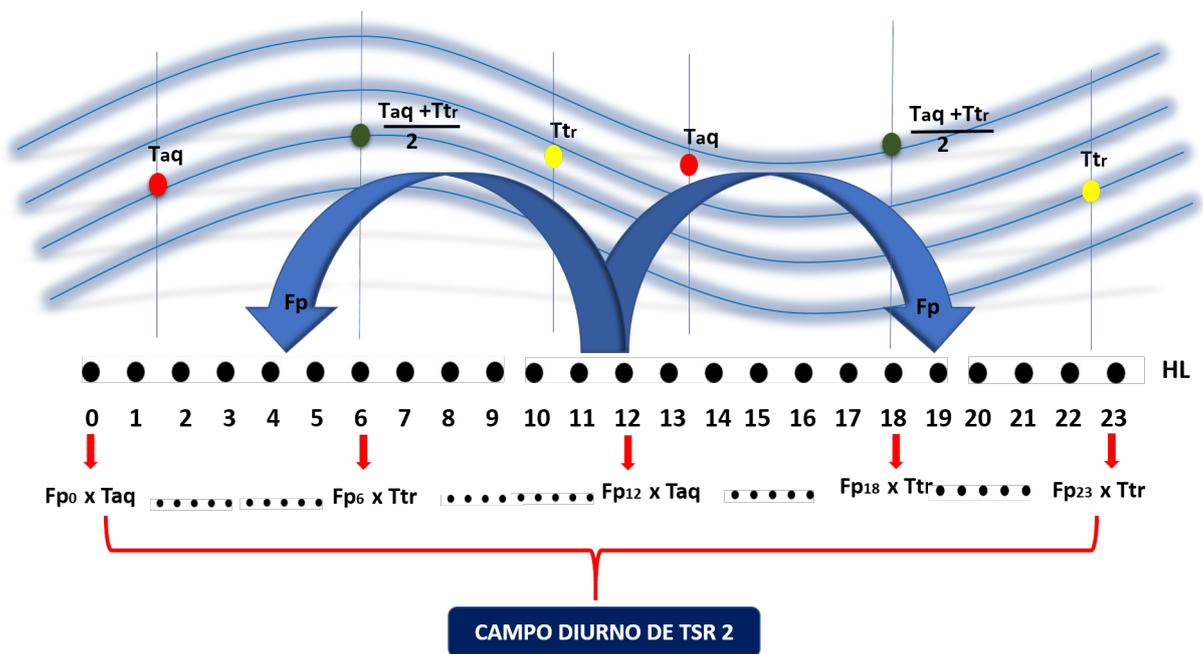


Figura 7: Estratégia metodológica adotada para o método 2.

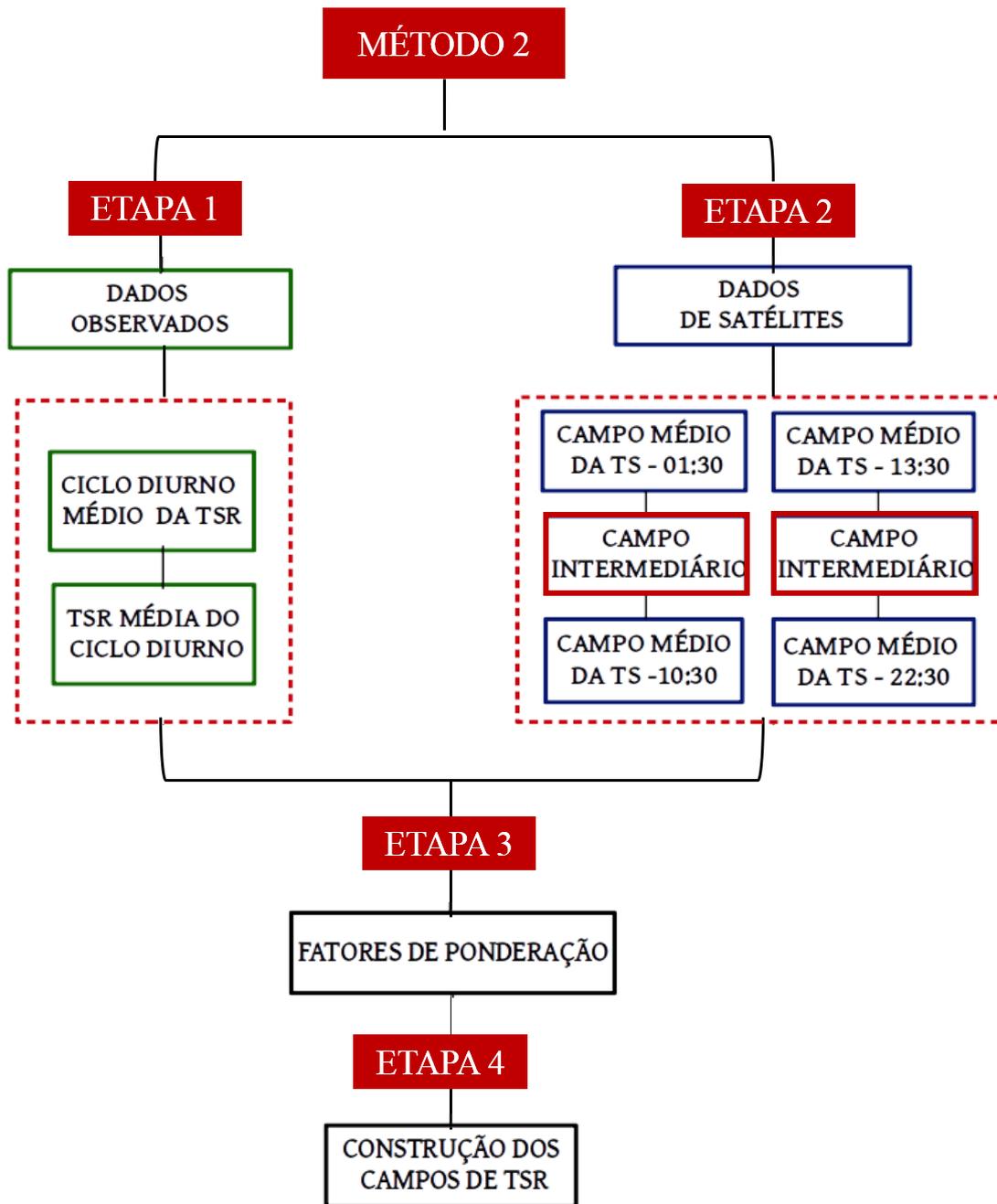


Figura 8: Esquema de construção de campos de TSR a partir do método 2.

O método 3 é o que utiliza apenas dados de satélite para a construção dos campos. Após a obtenção de médias mensais dos campos espaciais de temperatura da superfície estimados pelos satélites Aqua e Terra, os campos foram construídos a partir de médias realizadas entre os quatro campos espaciais de temperatura da superfície (Figura 9). As médias entre os campos, nesse método, permitiram a ampliação da frequência horária e a construção dos campos de TSR apenas com informações de satélites. O delineamento do método 3 é visualizado na Figura 10.

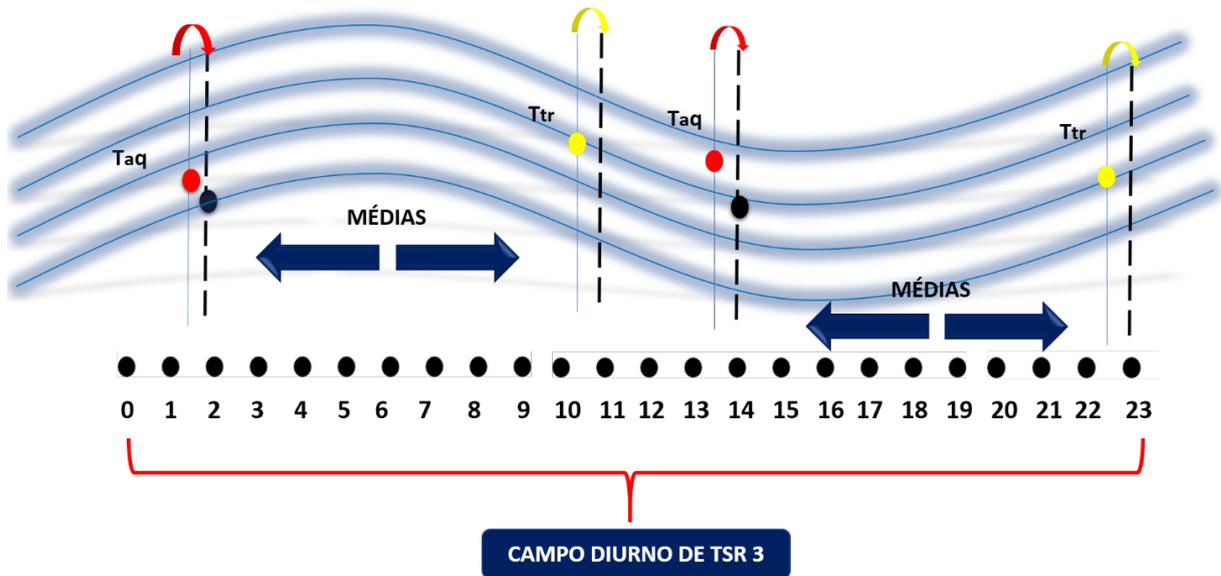


Figura 9: Esquema de construção de campos de TSR a partir do método 3.

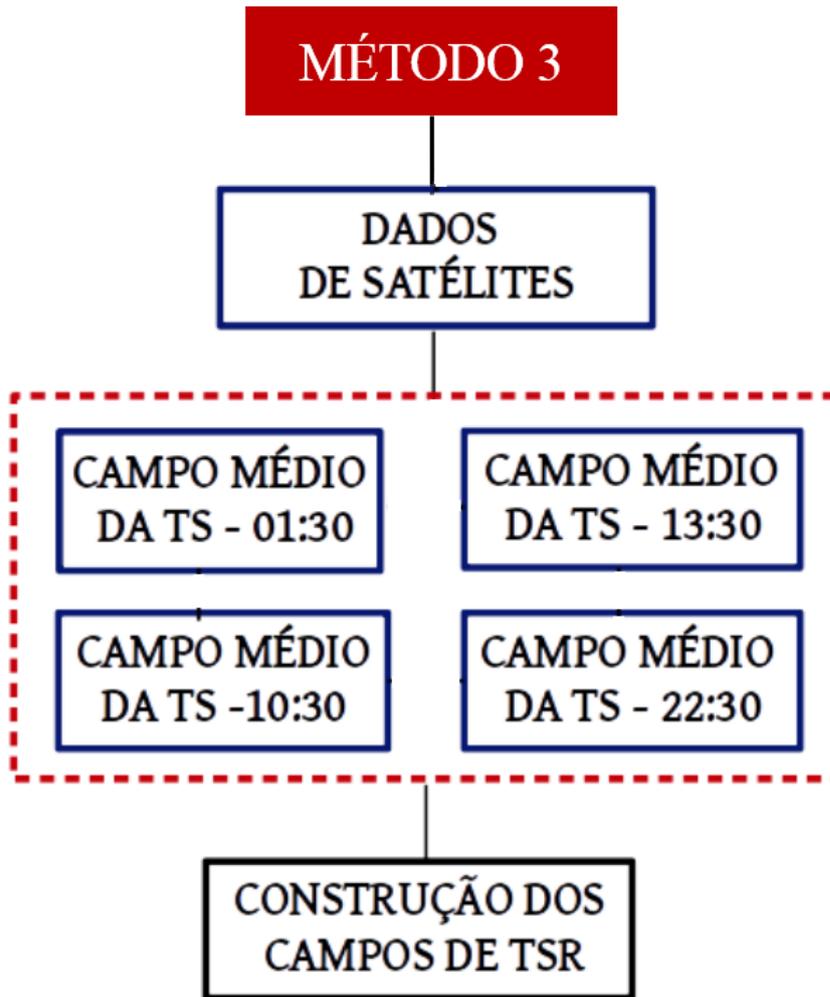


Figura 10: Estratégia metodológica adotada para o método 3.

4 Resultados e Discussão

Com o objetivo de verificar o comportamento da TSR antes da aplicação dos métodos 1, 2 e 3, é apresentado a construção de campos espaciais médios da temperatura da superfície estimada pelos satélites Aqua e Terra, nos quatro horários de passagem do satélite pela região de Manaus-AM (Figura 11). É possível observar que variação espacial e temporal da temperatura da superfície do rio apresenta pontos de diferentes valores de temperatura em toda sua extensão. Essa variação é mais notável nos períodos diurnos (11b e 11c), enquanto que no período noturno (Figura 11a e 11d) a temperatura apresenta pouca variação. A maior variação espacial da TSR durante o dia está relacionado com o aumento da incidência da radiação solar. O aquecimento provocado pelo aumento da incidência de radiação solar pode ser visualizado nas Figuras abaixo (11b e 11c). A noite, sem a incidência da radiação, e considerando a capacidade térmica da água, a energia armazenada é liberada lentamente, de modo que o resfriamento não é tão perceptível.

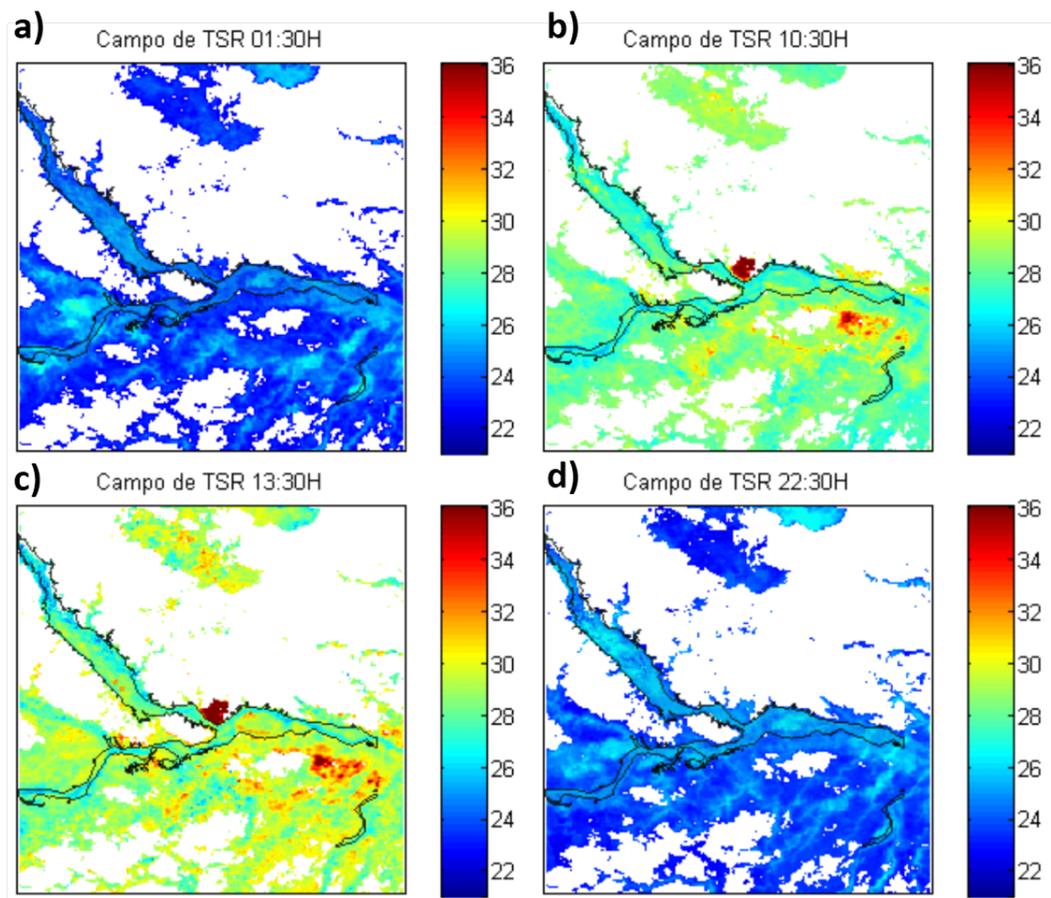


Figura 11: Campos médios de temperatura da superfície (agosto de 2008), para os quatro horários de passagem dos satélites AQUA e TERRA.

4.1 Campos de TSR relativo ao método 1

4.1.1 Campos Espaciais de TSR

O ciclo diurno do campo de TSR para agosto de 2008, construído a partir de informações remotas e locais, é mostrado nas Figuras 12a a 12z. As variações espaciais e temporais da TSR ocorrem em resposta às variações dos dados utilizados (observação e satélite) a partir do método de construção dos campos. Os campos de TSR construídos seguem um padrão de variação temporal, com menores temperaturas a noite (12a a 12e; 12s a 12z) e maiores durante o dia (12f a 12r). A variação temporal da TSR é menor entre os horários de 00h e 04h (12a a 12e), e entre 19h e 23h (12s a 12z). Desse modo, as diferenças graduais da TSR são mais explícitas no período diurno (12f a 12r). Visto que o método 1 utiliza o ciclo diurno da TSR observada para a construção dos campos de TSR, os campos construídos a partir da aplicação deste método reflete as características do ciclo diurno observado. O ciclo diurno da TSR está associado com a variação que ocorre ao longo das 24 horas do dia. Após o pôr do sol, a temperatura diminui em resposta ao resfriamento radiativo da superfície e, com o nascer do Sol, a superfície volta a aquecer e a temperatura começa a subir. Ao meio dia, o sol alcança seu ponto mais alto e a superfície recebe maior quantidade de energia. Entretanto, há uma defasagem devido ao tempo de resposta da superfície à radiação, que faz com que a temperatura máxima ocorra algumas horas depois. As mudanças mais acentuadas de TSR ocorrem em dois intervalos, um entre 04h e 05h, e outro entre 17h e 18h. As mudanças acentuadas da TSR ocorrem devido ao intervalo entre os horários de passagem dos satélites Aqua e Terra. A temperatura estimada pelo satélite Aqua às 01:30h é aproximadamente 4°C menor do que a temperatura estimada pelo satélite Terra às 10:30h. Da mesma forma, entre 13:30h (Aqua) e 22:30h (Terra), a diferença entre as TSR's é de aproximadamente 5°C. Essas diferenças são vistas mesmo após a aplicação do método. Assim, considerando essas variações acentuadas de temperatura dentro do ciclo, é observado que o primeiro método produz campos de TSR pouco condizente com a realidade.

É notório que, os campos de TSR também apresentam variações espaciais. Espacialmente, a TSR apresenta pequenas diferenças, sendo estas mais nítidas durante o dia (12f a 12r), e mais atenuada à noite (12a a 12e; 12s a 12z).

A TSR, de modo geral, pode estar relacionada à diversos fatores como, por exemplo, a extensão do rio, o volume de água e a localização do rios. De modo específico, a TSR pode ser influenciada pela pigmentação do rio, a quantidade e os tipos de nutrientes que compõem os rios, dentre outras especificidades. No caso dos rio Negro, Solimões e Amazonas, as maiores temperaturas encontram-se na margem oeste do rio Amazonas, na margem esquerda do rio Negro e na margem direita do rio Solimões. O rio Solimões, e

por ser mais estreito, em relação aos demais rios citados, apresenta um aquecimento mais suavizado, porém possível de ser observado.

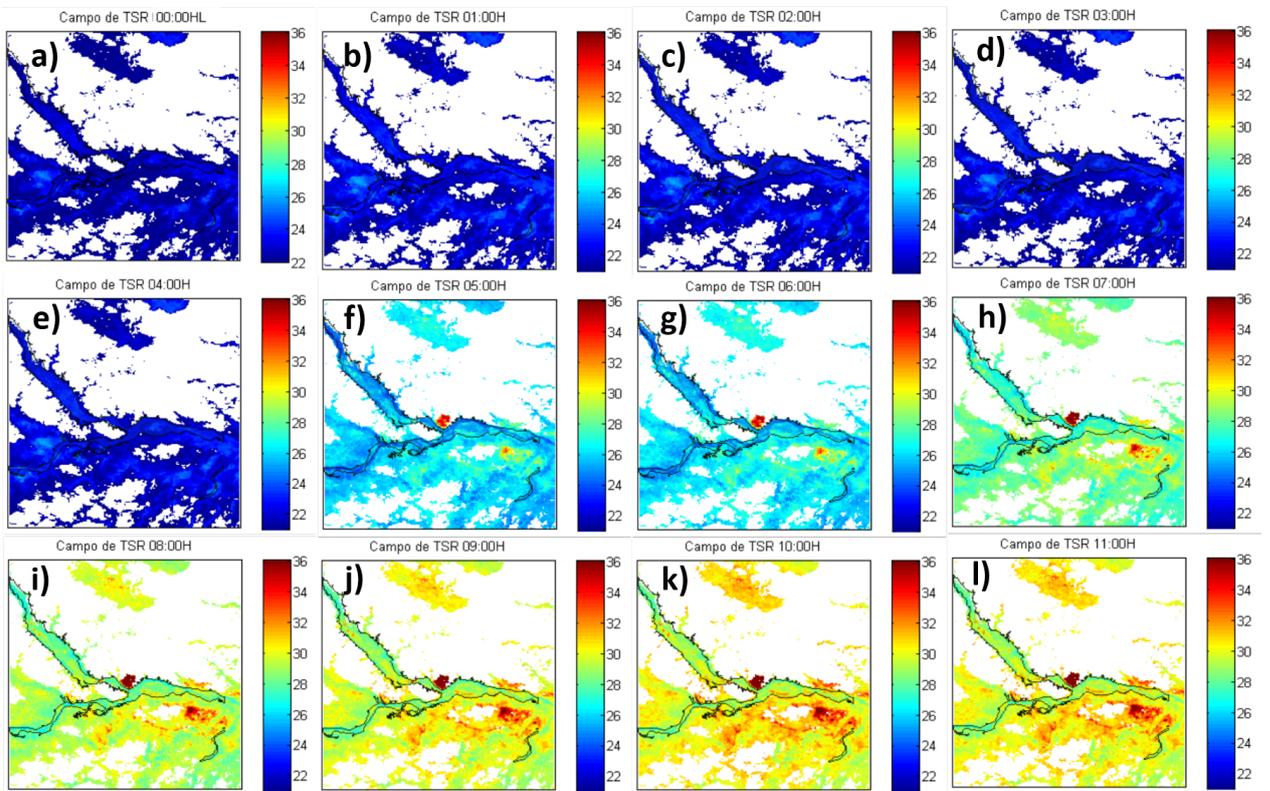


Figura 12: Campos de TSR ($^{\circ}\text{C}$) construídos para os horários de 00h às 11h (método 1 - hora local).

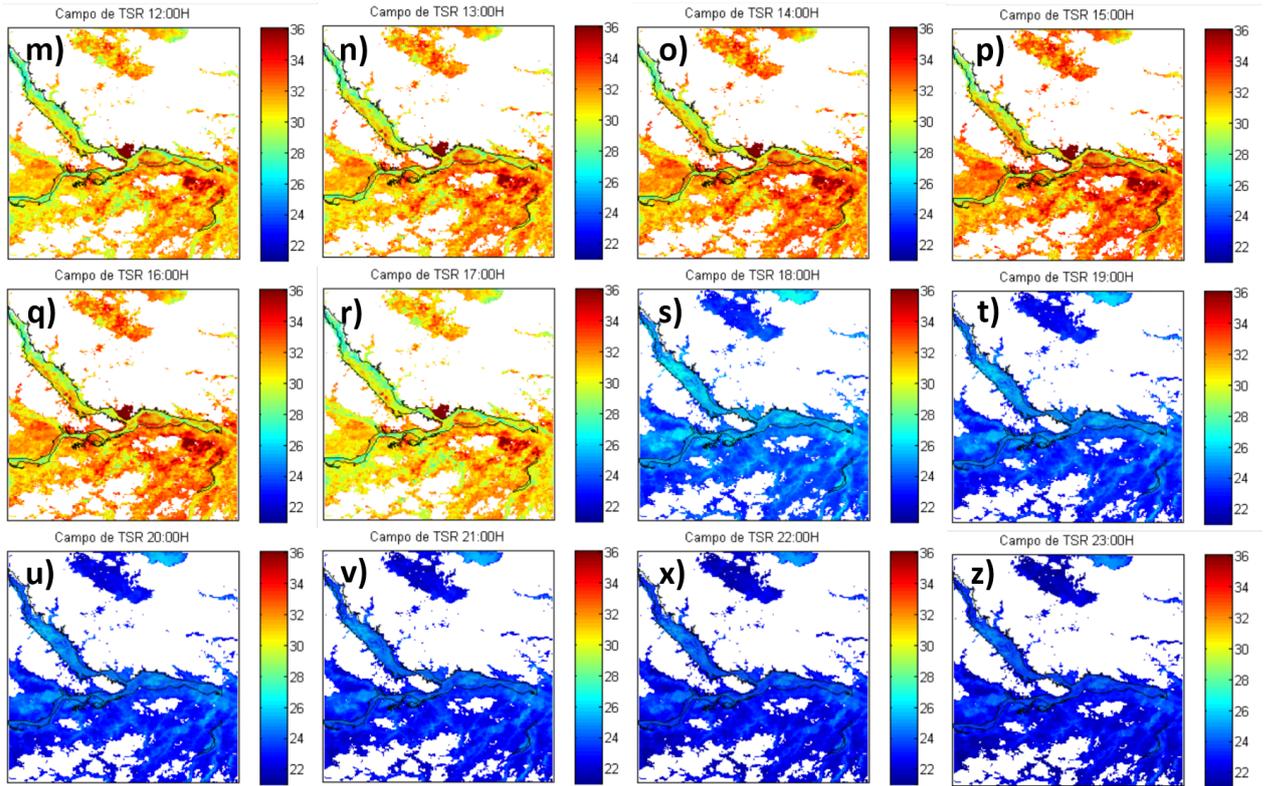


Figura 12: Campos de TSR ($^{\circ}\text{C}$) construídos para os horários de 12h às 23h (método 1 - hora local).

4.1.2 Ciclo diurno de TSR a partir do método 1

A combinação do ciclo diurno da TSR observada na estação meteorológica com os ciclos diurnos da TSR construída pontualmente para os rios Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e baixo rio Negro (estação), é mostrada na Figura 14. A TSR observada é o parâmetro que indica em qual ponto a TSR construída está mais próxima da realidade, tanto no ponto da estação, quanto para os demais pontos. Portanto, a eficácia do método está relacionada com a proximidade da curva da TSR construída com a curva da TSR observada. Assim, pode se observar que, de modo geral, durante o dia a curva dos ciclo diurno das TSR's construídas, está mais próxima da realidade do que a noite. Isto ocorre em resposta à aplicação do método. Antes da aplicação do método, a temperatura estimada pelos satélites são, aproximadamente, 4°C menores do a temperatura observada nos referidos horários de passagem. Ao aplicar o método, como durante a noite o fator de ponderação é menor do que 1 (temperatura menor do que a média), essa diferença aumenta, evidenciando a influência dos valores da TSR observada no método. A Figura 13 ilustra a influência dos fatores de ponderação na TSR construída apenas para o ponto da estação, porém esse efeito pode ser considerado para os demais pontos.

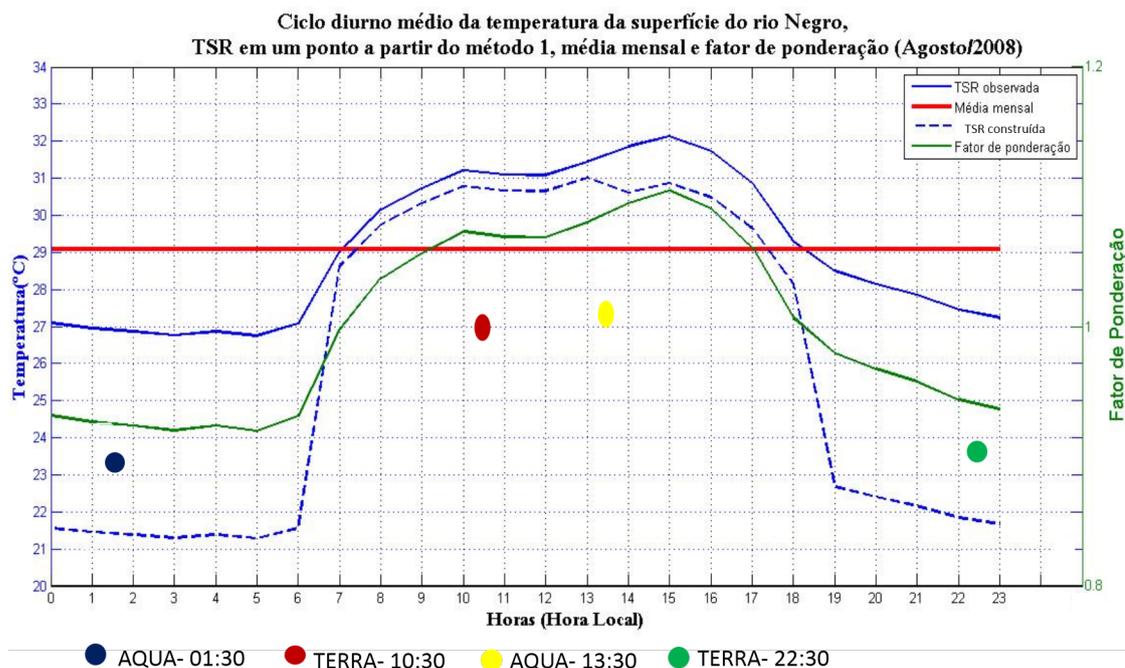


Figura 13: Ilustração da temperatura média do ciclo diurno em conjunto com as curvas referentes aos fatores de ponderação, à TSR observada e à TSR construída a partir do método 1 para o ponto da estação, mostrando a influência do método na construção da TSR .

O ciclo diurno das TSR's construído de modo pontual, possui o mesmo comportamento do ciclo diurno da TSR observada. As temperaturas se apresentam maiores de dia e menores à noite. A pouca variação da TSR nos campos espaciais entre 00h e 05h, e entre 18h e 23h, assim como o aumento e a queda acentuada da TSR (entre 04h e 05h, e entre 17h e 18h), também ocorre pontualmente. Isso mostra que a diferença entre os valores de temperatura estimada pelos satélites decorrente do intervalo entre a passagem dos mesmos, é vista tanto espacialmente quanto pontualmente nas TSR's construídas. No ponto da estação (TSR observada), a variação temporal da TSR é suavizada em relação aos pontos em que a TSR foi construída. No ciclo diurno da TSR observada, é possível observar um aumento mais gradativo, enquanto que, nos pontos em que a TSR foi construída, a variação é mais brusca, chegando até 7 graus de diferença.

Foi observado espacialmente que os rios possuem diferentes temperaturas. Pontualmente, durante o dia, é possível perceber que para o ponto em questão e para o mês de agosto de 2008, o rio Amazonas é o rio apresenta maiores temperaturas, seguido do baixo rio negro (Estação), alto rio negro e Solimões. Durante a noite, esse padrão se modifica em virtude da capacidade térmica de cada rio, ou seja, o rio que aquece mais rapidamente (lentamente) durante o dia, será o mesmo que irá resfriar mais rapidamente (lentamente) durante a noite. O ciclo diurno construído que mais se aproxima do ciclo diurno observado é o rio Solimões no período diurno e o alto rio negro no período noturno. Entre 12h e 17h, esta proximidade aumenta, de modo que, ambos os rios apresentam as mesmas

temperaturas em relação a TSR observada. Essas características estão de acordo com o método aplicado e, pontualmente, é possível identificar o rio com a temperatura similar à TSR observada.

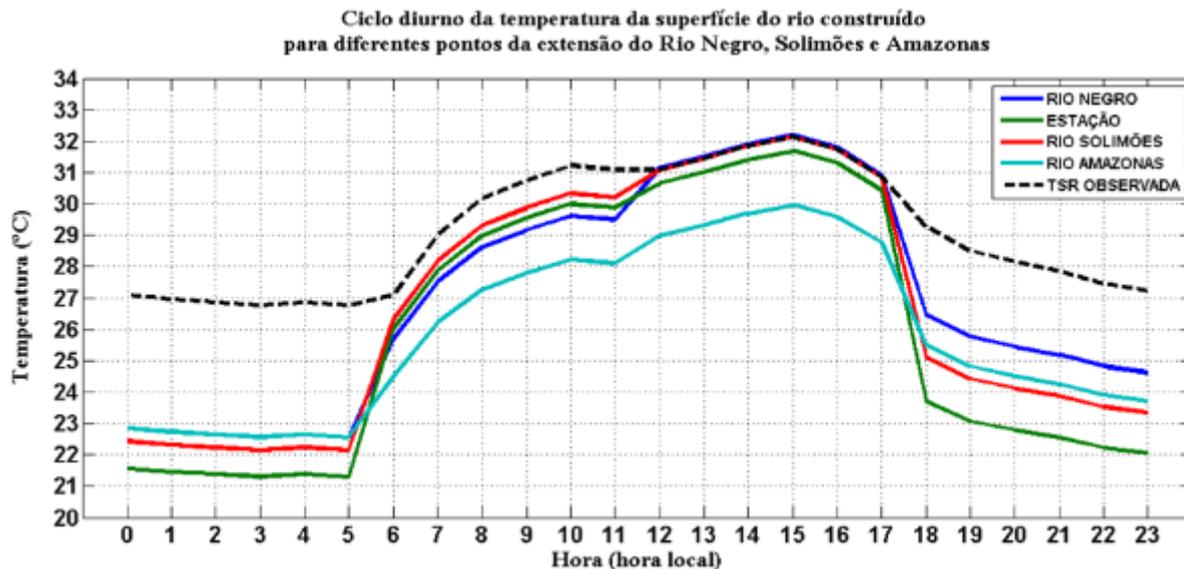


Figura 14: Composição da Temperatura da superfície do rio (TSR) construída para pontos no rio Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e no local da estação (baixo rio Negro), com a TSR observada a partir do método 1.

4.2 Campos de TSR relativo ao método 2

4.2.1 Campos Espaciais de TSR a partir do método 2

Campos construídos de TSR a partir do método 2 (agosto de 2008), são apresentados nas Figuras 15a a 15z. Os campos de TSR apresentam variações temporais durante o dia e durante a noite, com a variação temporal da TSR à noite sendo menor do que durante o dia. Entre os horários de 00h e 03h (15a a 15d) e entre 19h e 23h (15t-15z), observa-se que os valores de TSR mantêm-se praticamente constantes. Por outro lado, a variação temporal da TSR durante o dia é melhor visualizada. É possível perceber no período diurno (15f a 15r), aumento gradual da TSR com o decorrer das horas. Os valores de TSR praticamente constantes nas primeiras horas do dia e a noite nos campos construídos correspondem aos valores da TSR observada, também utilizada no segundo método. A influência da TSR durante o dia é mais perceptível que à noite em consequência da maior variação de temperatura provocada pela incidência da radiação solar. A partir das 04h, há mudança notável nos valores da TSR, em torno de 2 °C aproximadamente. Essa mudança se repete às 19h e é decorrente da aplicação do segundo método para a construção dos campos. A diferença da variação temporal da TSR de acordo com o período do ciclo diurno também foi observada no método 1, assim como a mudança acentuada para dois intervalos.

A diferença entre os métodos é relativa aos horários de abrangência da variação e da mudança brusca dos valores da TSR. No método 1, a variação que ocorre a noite tem início às 00h e permanece até às 04h e, os dois horários em que percebe-se as mudanças mais notáveis da TSR, são às 05h e às 18h, como visto na seção anterior. O método 2 conta com valores estimados de temperatura da superfície em horários intermediários aos horários de passagem dos satélites. Esse aumento na frequência de dados de satélites suavizou o ciclo diurno de TSR construída, e portanto, as alterações apresentam-se menos acentuadas. A variação espacial nos campos construídos de TSR são mais perceptíveis durante o período diurno (15f a 15r), e menos durante o noturno (15a a 15e; 15s a 15z), assim como ocorre temporalmente. É possível observar diferentes valores de TSR na extensão dos rios Negro, Amazonas e Solimões. O rio Amazonas é o rio com a maior variação da TSR e com os maiores valores de temperatura, em relação aos rios Negro e Solimões.

Esses maiores contrastes, juntamente com o maior aquecimento, ocorrem principalmente na margem esquerda do rio Amazonas. O rio Negro, ademais, apresenta maior aquecimento em sua margem esquerda, porém menos intenso quando comparado ao rio Amazonas. Por outro lado, no rio Solimões a diferença espacial dos valores da TSR ocorre na margem direita. As características das TSRs se assemelham às observadas nos campos de TSR construídas a partir do método 1, porém com a aplicação do método 2, os contrastes ficam mais evidentes.

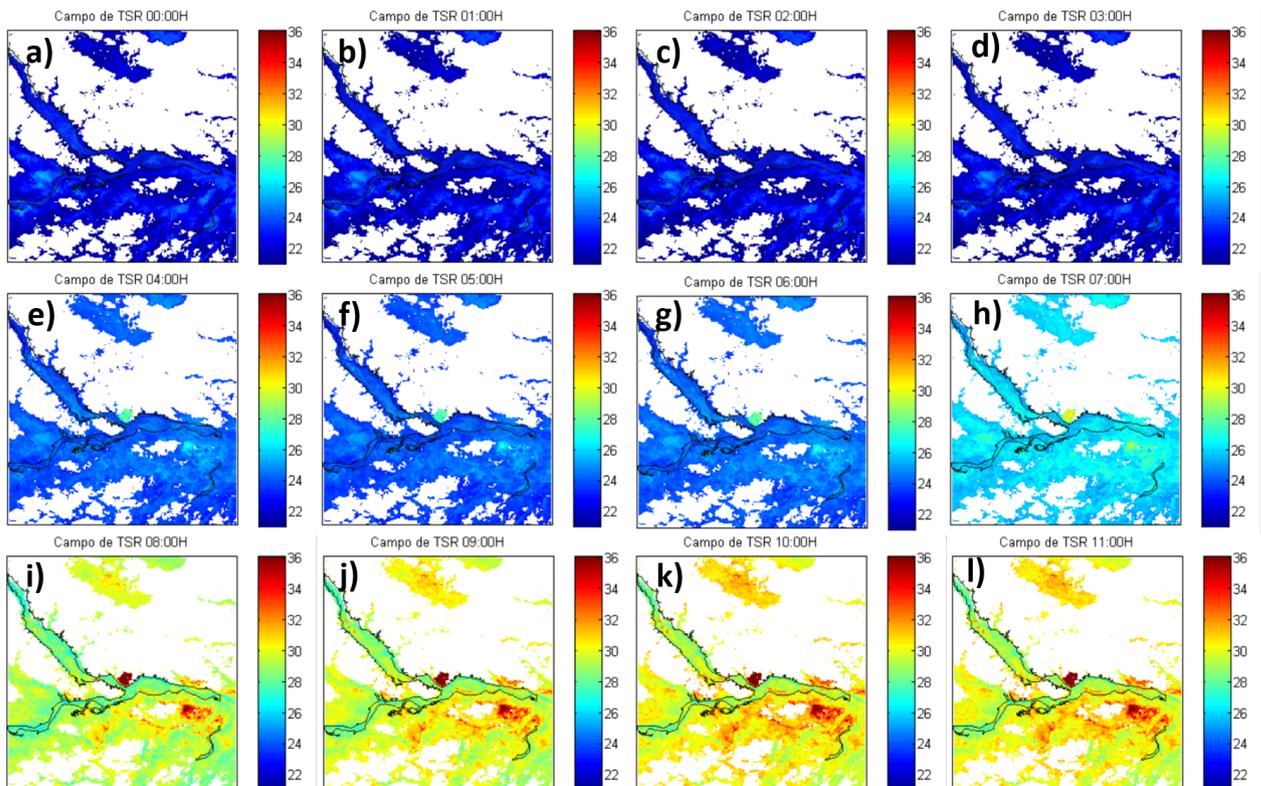


Figura 15: Campos de TSR ($^{\circ}\text{C}$) construídos para os horários de 00h às 11h (método 2 - hora local).

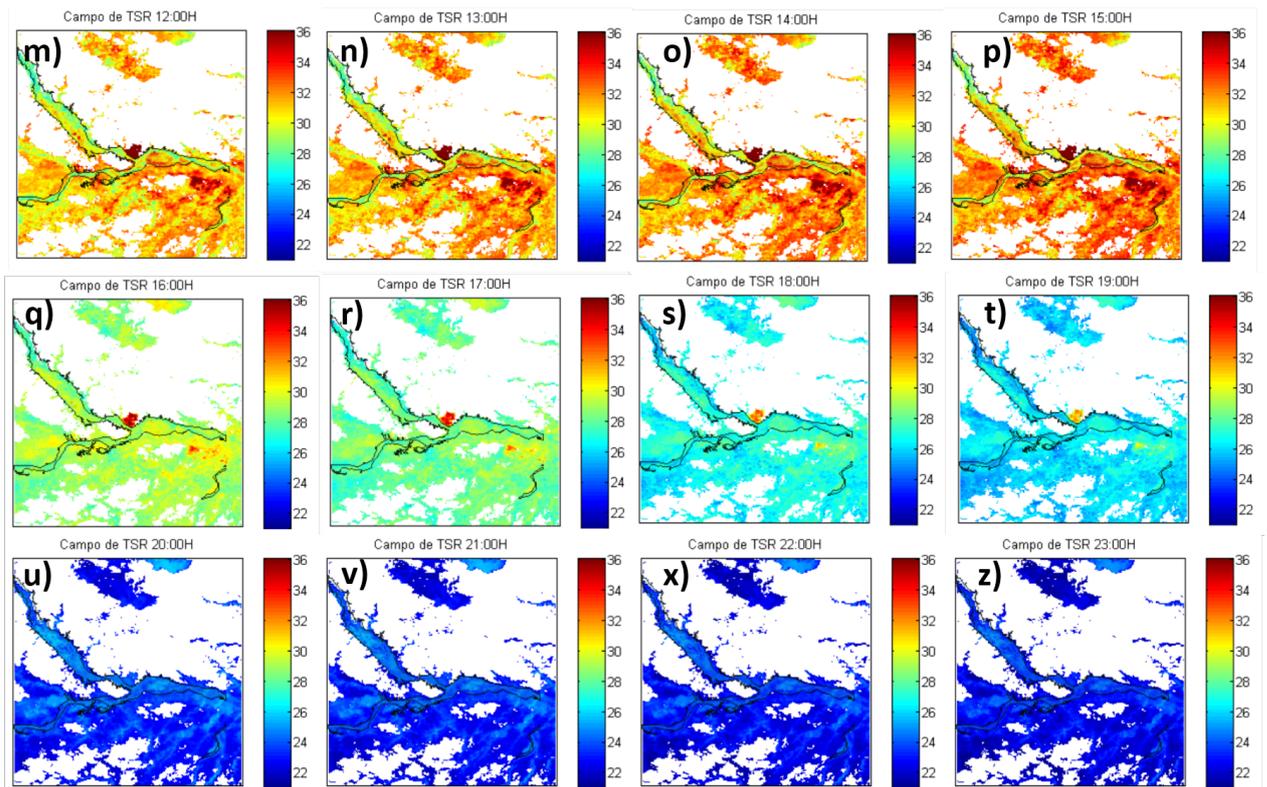


Figura 15: Campos de TSR ($^{\circ}\text{C}$) construídos para os horários de 12h às 23h (método 2 - hora local).

4.2.2 Ciclo diurno de TSR a partir do método 2

A comparação entre a TSR construída a partir do método 2 para diferentes pontos dos rios Negro, Solimões e Amazonas, com a TSR observada, é apresentada na Figura ???. Os pontos em que a TSR foi construída com base no segundo método, são os mesmos pontos utilizados na construção baseado no primeiro método, com o rio Negro sendo analisado em dois pontos: alto rio Negro e baixo rio Negro (estação), além dos pontos nos rios Solimões e Amazonas. O comportamento da TSR observado espacialmente e temporalmente nos campos espaciais construídos, também é observado nas TSR's construídas pontualmente. O segundo método foi aplicado pontualmente da mesma forma que foi aplicado espacialmente, assim, espera-se que o comportamento e as características dos rios sejam mantidas. A pouca variação entre as 00h e 03h, e entre 20h e 23h, ocorre tanto nos pontos do rio Negro quanto nos pontos dos rios Amazonas e Solimões. Embora haja pouca variação, é possível visualizar a TSR diminuir gradativamente. A redução da variação da TSR, principalmente à noite, ocorre em consequência da alta inércia térmica da água, ou seja, a água tarda a responder às variações de temperatura, agindo como um potente armazenador de calor. Como consequência haverá uma lenta liberação de toda energia armazenada, e a diminuição gradativa da TSR. Com a aplicação do método 2, a TSR obteve mais períodos de variação, o que suavizou a curva do ciclo diurno em comparação ao primeiro método.

Valores intermediários de TSR, resultante da média entre as temperaturas nos horários de 01:30h e 10:30h, e 13:30h e 22:30h, foram utilizados a fim de aumentar a frequência horária dos dados de satélite. Assim, a curva do ciclo diurno da TSR construída pelo método 2 apresenta um comportamento semelhante à TSR observada, reduzindo os pontos de variação acentuada. Quanto a intensidade da TSR, durante o dia, o rio Amazonas é o rio que apresenta maiores temperaturas, seguido do baixo rio negro, alto rio negro e Solimões. As diferentes temperaturas dos rios variam de acordo com as suas particularidades como cor e composição, por exemplo. Em geral, os ciclos diurnos da TSR construídos pelo método 2, foram os que mais se aproximaram da TSR observada durante todo o período do ciclo, comparados aos campos resultantes do método 1. O uso da TSR observada no segundo método, juntamente com o aumento da frequência de informações dos satélites, aproximou o ciclo diurno construído do ciclo diurno observado, e como consequência, uma TSR mais realista em relação ao método 1.

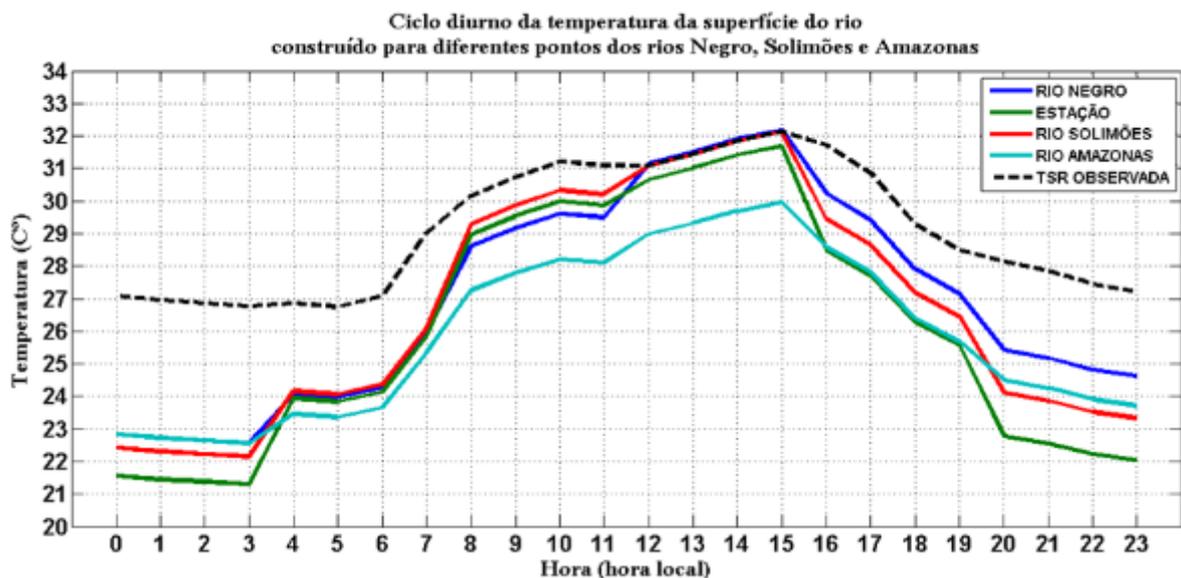


Figura 16: Composição da Temperatura da superfície do rio (TSR) construída para pontos no rio Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e no local da estação (baixo rio Negro), com a TSR observada a partir do método 2.

4.3 Campos de TSR relativo ao método 3

4.3.1 Campos Espaciais de TSR a partir do método 3

Campos espaciais de TSR decorrentes da aplicação do método 3, para o mês de agosto de 2008, são mostrados nas Figuras 17a a 15z. O terceiro método permite visualizar a resposta da interação da radiação com o rio, baseada apenas em estimativas de satélites, sem a influência de dados observados. O método 3 permite verificar o quanto as informações de satélite se assemelham às informações observadas, tanto em valores quanto comportamento dentro do ciclo diurno. Nota-se que os valores de TSR decaem entre 00h

e 04h (17a a 17e), sendo que após às 04h, a TSR aumenta gradativamente até às 15h, quando decai novamente (17f a 17p; 17q a 17z). Os satélites estimam a temperatura por meio da energia irradiada pela superfície. Essa energia que é irradiada corresponde ao valor da temperatura da superfície, ou seja, quanto mais elevada for a temperatura, maior será a energia radiante. Dessa forma, a noite, com a superfície mais resfriada haverá menor emissão térmica. Portanto, a mudança progressiva nos valores da TSR pode ser visualizada tanto durante a noite quanto durante o dia, com as menores TSR's ocorrendo a noite e as maiores durante o dia.

A variação temporal da TSR obtida pelo método 3, principalmente durante o período noturno, é melhor visualizada do que nos métodos 1 e 2. Os métodos 1 e 2 mostram a TSR praticamente constante entre os horários de 00h às 04h (17a a 17e), e entre 18h e 23h (17s a 17z), evidenciando apenas as variações diurnas. Isso ocorre devido a influência da TSR observada nos métodos 1 e 2. A TSR observada foi obtida em um ponto do rio, e nesse ponto a TSR apresenta-se constante nas primeiras horas do dia e a noite, e esse padrão reflete diretamente na construção dos campos. Quando utiliza-se apenas dados de satélite, os detalhes são evidenciados e pode-se visualizar sutilmente as mudanças da temperatura com o decorrer das horas. As variações acentuadas da TSR observadas a partir da aplicação dos métodos 1 e 2 são suavizadas com a aplicação do terceiro método. O aumento na frequência de dados de sensoriamento remoto favoreceu a redução das variações acentuadas no ciclo diurno, e modo que os valores variam gradativamente. Assim, de maneira geral, o ciclo diurno dos campos de TSR mostra-se mais realista em relação ao ciclo diurno dos métodos anteriores, com as temperaturas variando entre 25° C e 31° C.

Especialmente, os rios apresentam diferentes valores de temperatura em diversos pontos ao longo de suas extensões. Os contrastes da TSR são vistos detalhadamente no período diurno, assim como no período noturno nos rios Negro, Solimões e Amazonas, onde as maiores mudanças ocorrem na margem esquerda do rio Amazonas. Assim sendo, as particularidades dos rios em relação a intensidade da TSR, são mantidas, com o rio Amazonas apresentando as maiores temperaturas, seguido do rio Negro e Solimões, assim como nos métodos 1 e 2. É notório que os satélites AQUA e TERRA captaram os detalhes de cada rio, mostrando que os rios variam espacialmente e que, dependendo da localização e característica de cada rio, essa variação é maior ou menor. Assim, o método 3 conseguiu ressaltar as variações temporais e espaciais da TSR, filtrando as mudanças bruscas e destacando as características de temperatura de cada rio.

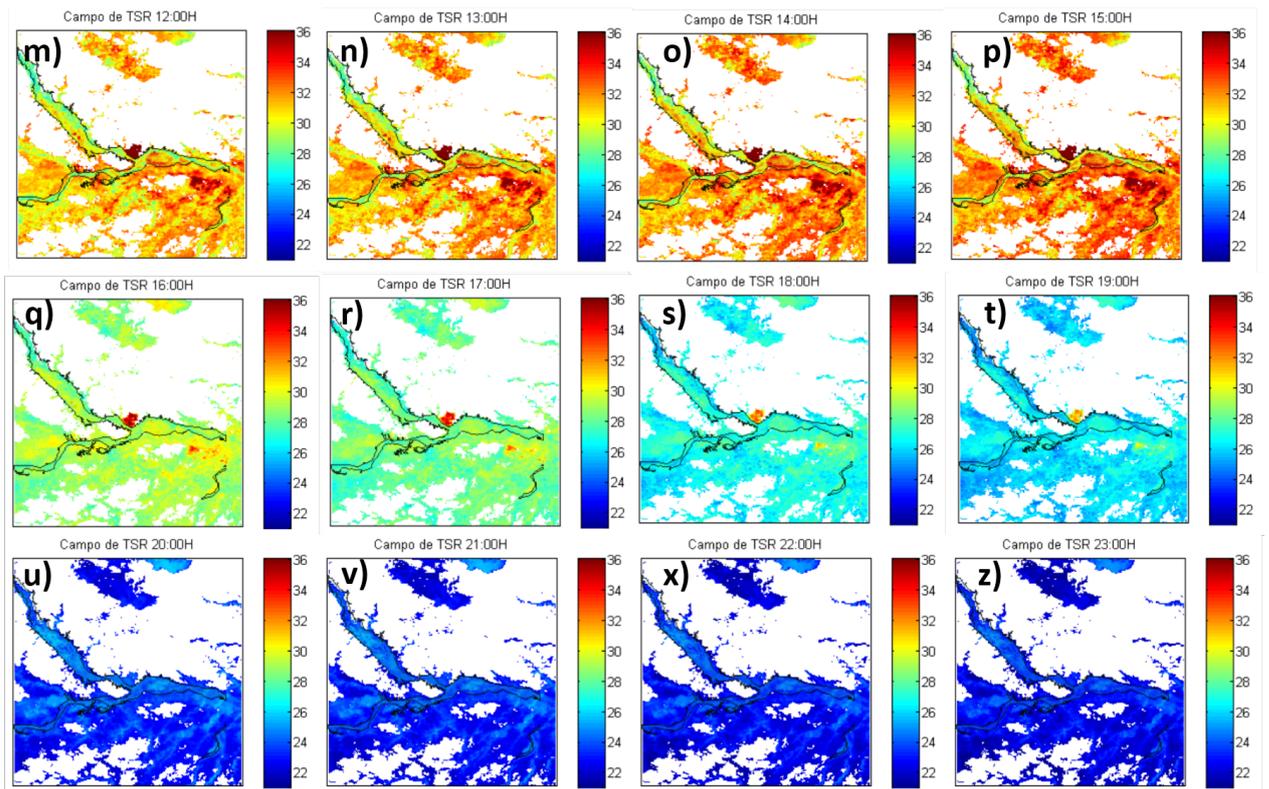


Figura 17: Campos de TSR (°C) construídos para os horários de 00h às 11h (método 3 - hora local).

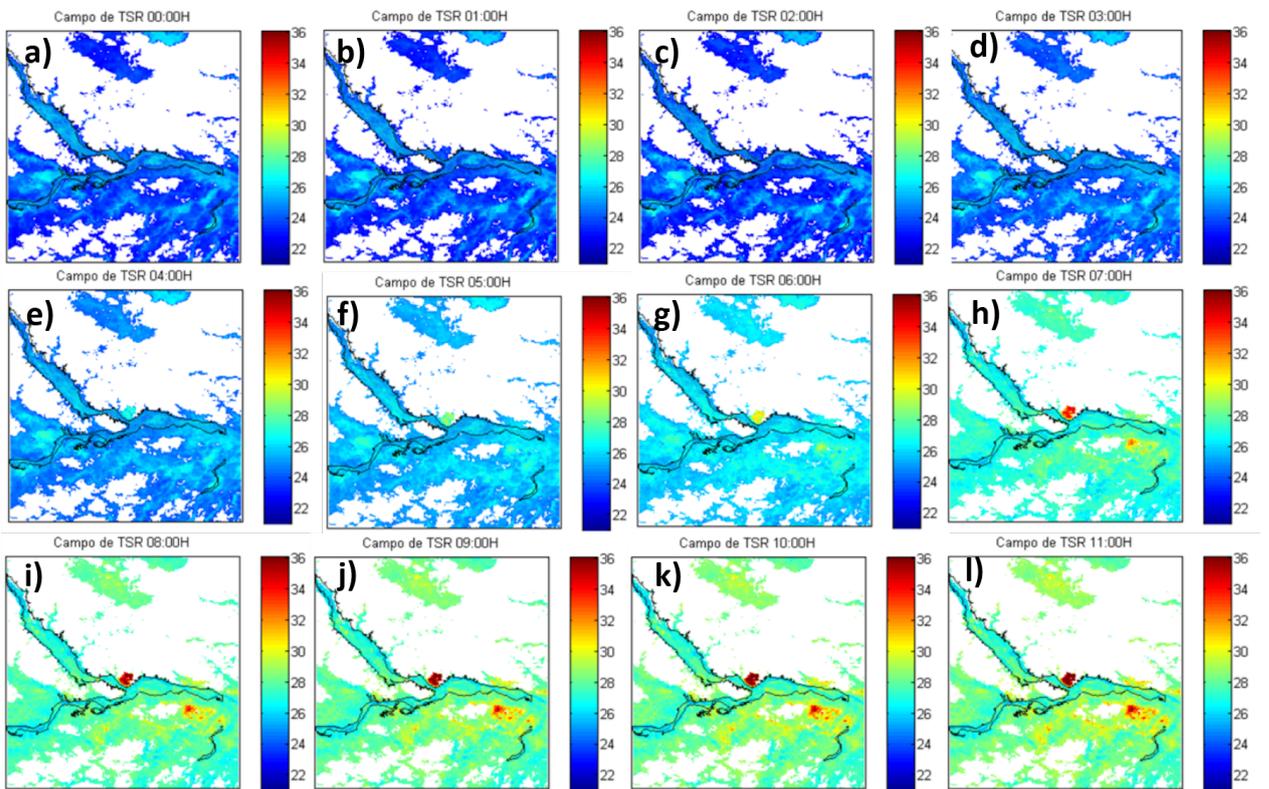


Figura 17: Campos de TSR (°C) construídos para os horários de 12h às 23h (método 3 - hora local).

4.3.2 Ciclo diurno de TSR a partir do método 3

A construção pontual da TSR de acordo com o método 3, é apresentada na Figura ???. Os ciclos diurnos da TSR nos pontos dos rios Negro, Solimões e Amazonas, são mostrados juntamente com o ciclo diurno da TSR observada. As curvas das TSR's construídas, apresentam comportamento linear quando comparadas à TSR observada, o que mostra uma filtragem nas mudanças acentuadas de temperatura. A redução das alterações bruscas nos valores das TSR's está relacionada com o método utilizado, uma vez que este utiliza apenas dados de satélite para a construção das TSR's.

Os valores de temperatura referentes aos pontos dos rios mostram que a intensidade das TSR's apresentadas pelos métodos 1 e 2 não são alteradas ao se aplicar o terceiro método. Dessa forma, o rio Solimões permanece sendo o mais quente durante o dia, e o alto rio Negro o mais quente à noite. Essa diferença entre os valores das TSR's, de um modo geral, é mais evidente à noite e menos evidente durante o dia. No entanto, para o rio Amazonas, a maior diferença ocorre durante o dia, aproximadamente 2° C mais frio quando comparado aos demais rios. O ponto no rio Amazonas é o que apresenta menor valor de TSR. É interessante que as diferenças de temperatura dos rios, assim como o período de maior e menor variação, se mostram presentes independentemente do método aplicado. É importante que os métodos consigam retratar essas diferenças de temperatura entre os rios, pois cada rio dispõe de peculiaridades que influenciam na relação com a radiação e conseqüentemente nos valores de temperatura. Sendo o terceiro método o que não utiliza dados observados para a construção das TSR's, entre os três métodos, as TSR's a partir do método 3 são as que mais se distanciam da TSR observada. A vantagem do método 3 é que ele permitiu construir um ciclo diurno de TSR com o comportamento mais próximo do comportamento do ciclo diurno da TSR observada em relação aos demais métodos. No entanto, por não utilizar dados observados, a curva da TSR construída não se aproxima tanto da curva do ciclo diurno observado, ou seja, os valores estimados se mostram bem diferentes dos observados quando o método 3 é aplicado. Esse afastamento pode ser uma limitação do método.

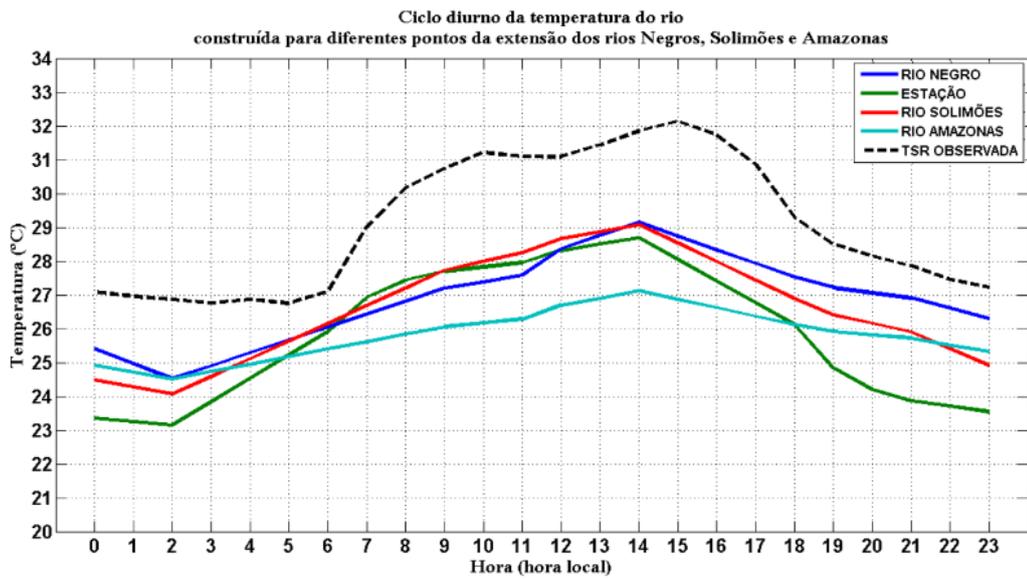


Figura 18: Composição da Temperatura da Superfície do Rio (TSR) construída para pontos no rio Negro (alto rio Negro), Solimões, Amazonas e no local da estação (baixo rio Negro), com a TSR observada a partir do método 3.

5 Conclusões

Campos espaciais de TSR foram construídos em frequência horária a partir de três métodos de interpolação. Os métodos utilizaram dados observados para aumentar a frequência de dados de satélites e assim obter o ciclo diurno da TSR. O uso dos métodos permitiu representar o comportamento padrão de um ciclo diurno, com maiores temperaturas durante o dia e menores à noite. Os campos obtidos pelos métodos apresentaram as características dos rios em resposta às propriedades físicas da água, ou seja, TSR praticamente constante a noite e maiores variações durante o dia.

O ciclo diurno da TSR construída a partir do método 1 foi o menos condizente com a realidade da TSR observada (estação) por apresentar mudanças bruscas nos valores de temperatura. Por outro lado, o método 2 suavizou a curva da TSR e foi o que mais se aproximou da TSR observada. Os valores intermediários de temperatura da superfície estimada pelos satélites, utilizados no segundo método, contribuíram para diminuir as mudanças acentuadas nos valores de TSR obtidas pelo método 1. O terceiro método, embora tenha apresentado curva mais linear e semelhante à curva do ciclo diurno da TSR observada, foi o que apresentou valores de TSR mais afastados dos valores observados.

De maneira geral, todos os métodos utilizados apresentaram algumas limitações. Primeiramente, a limitação está em considerar que o padrão espacial da temperatura do rio possui o mesmo comportamento observado na estação meteorológica. Em específico, a limitação que ocorre no método 1 está relacionada a diferença do valor da temperatura estimada pelos satélites entre os horários de passagem, o que provoca mudanças bruscas de temperatura. A limitação do segundo método está nas variações temporais da TSR, pois existe muitas variações nos campos de TSR construídos pelo método 2, o que não condiz com as variações de temperatura que ocorrem em rios. O terceiro método, embora apresente um ciclo diurno de TSR com comportamento próximo ao do ciclo diurno observado, apresentou valores de temperatura bem menores que os valores da TSR observada. Essa diferença entre os valores de TSR distancia a TSR construída da observada, sendo portanto a limitação deste método.

Assim, pode se afirmar que os dados observados permitiram o aumento da frequência de dados de satélite e a construção de campos de TSR em alta resolução temporal (1/1h). Apesar das limitações, os métodos aplicados na construção dos campos de TSR conseguiram representar as características dos rios e o comportamento da temperatura dentro do ciclo diurno. Embora apresente limitações relacionadas a variação temporal de temperatura, o método 2 foi o método que produziu campos de TSR com comportamento mais próximo das observações, tanto em relação à curva do ciclo diurno quanto aos valores de temperatura.

6 Referências

Referências

- [1] ANDREOLLI R. V.; SOUZA, R. F. A.; FERREIRA, S.F.S.; SAPUCCI, L. F.; HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. Inclusão das sondagens AIRS/AMSU no sistema global de assimilação/previsão de tempo do CPTEC/INPE: estudo de impacto. **Res. Bras. Meteorol.**, 2007.
- [2] BETTS, A. K.; FISCH, G.; VON RANDOW, C.; SILVA DIAS, M. A. F.; COHEN, J. C. P.; DA SILVA, R. e FITZJARRALD, D. R. A Camada Limite da Amazônia e Circulações de Mesoescala **American Geophysical Union**, 2010.
- [3] DE OLIVEIRA, A. P. and FITZJARRALD, D. R. The Amazon River breeze and the local boundary **Observations, Bound Layer Meteorol**, 1993.
- [4] DIRMEYER, P. A.; TAN, L. A multi-decadal global land-surface data set of state variables and fluxes. **Calverton MD: Center for Ocean-Land Atmosphere Studies**, 2001.
- [5] DOS SANTOS, Z. S.; FARIAS, C., CANDIDO, L. A., VEIGA, J. A. P. Rivers can overcome the influence of urban sprawl on the spread of squall lines in the Central Amazon. Tese (Doutorado em clima e ambiente). **Urban Climate**, 2019, 63, 141-162.
- [6] DOS SANTOS, Z; FARIAS, C.; CANDIDO, L. A. e VEIGA, J. A. P. Rivers in the Central Amazon intensify squall lines over urban areas. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente). **Science of total environment**, 2019
- [7] FISCH, G.; MARENGO, J.A. e NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o Clima da Amazônia **ACTA AMAZONICA** 1998
- [8] HERDIES, D. L.; ARAVEQUIA, J. A.; FERREIRA, S.H.S.; ANDREOLI, R. V.; SAPUCCI, L. F.; MATTOS, J. G.Z. , Assimilação de dados no CPTEC INPE **Res. Bras. Meteorol.**, 2007
- [9] A. HOLLINGSWORTH, and SIMMONS, A.J. The Relevance of Numerical Weather Prediction for Forecasting Natural Hazards and for Monitoring the Global Environment **American Meteorological Society pub American Meteorological Society**, 2002.
- [10] INOUE, R. T. Impacto da assimilação de dados observacionais no prognóstico de tempo com o modelo WRF

- [11] KALNAY, E. Uma revisão geral sobre o Clima da Amazônia **Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability** ,2005.
- [12] LIN, Y. L .;FARLEY, R. D. and ORVILLE, H. D. Uma revisão geral sobre o Clima da Amazônia **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v.22,n.6,p.1065–1092, 1983. 49, 52
- [13] MAIA, J. M. F. et al Eddy covariance measurements over amazonian rivers: the lower negro river and the middle solimoes. **American Geophysical Union: Meeting of the Americas, 2010**
- [14] Marengo, J. A. and Nobre, C. General Characteristics and variability of Climate in the Amazon Basin and its Links to the Global Climate System **The hydroclimatological framework of Amazonia, Biogeochemistry of Amazonia, 2001**
- [15] LU, L.; DENNING, M. A. F.; SILVA DIAS, M. A. F; SILVA DIAS, P. L. and LONGO, M. Mesoscale circulations and atmospheric CO2 variations in the Tapajós Region, Pará, Brazil **Geophys Magazine,2005**.
- [16] Silva Dias, M. A. F.; Silva Dias, P. L.; Longo, M.; Fitzjarrald, D. R. and Denning, A. S. River breeze circulation in Eastern Amazon: observations and modelling results. **Theoretical and Applied Climatology** , 2004.
- [17] SKAMAROCK,W.C. and KLEMP,J.B. A time-split non hydrostaticatmospheric model for weather research and forecasting applications. **Journal of Computational Physics, 2008**.
- [18] WALLACE, J. M., HOOBS, P.V. Atmosferic Science, **Elsevier Science, 2006**).
- [19] WAN, Z. MODIS Land Surface Temperature Products Users'Guide. **Institute for Computational Earth System Science. (Org.). University of California, Santa Bárbara, 2007**.
- [20] WAN, Z. New refinements and validation of the MODIS LandSurface Temperature/Emissivity products **Remote Sensing of Environment, 2008**.
- [21] ZEIDMANN, V. K. ; O Rio de águas negras **Companhia das Letras, 2001**.