



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

## ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM

Alessandra Aparecida da Luz Moraes

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientada pela Dra.  
Tatiana Mora Kuplich e Coorientada  
pela Dra. Patrícia Michele Pereira  
Trindade

INPE

Santa Maria

2021





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

ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DOS  
RIOS VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM

Alessandra Aparecida da Luz Moraes

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientada pela Dra.  
Tatiana Mora Kuplich e Coorientada  
pelo Dra. Patrícia Michele Pereira  
Trindade

INPE

Santa Maria

2021



## RESUMO

O presente trabalho objetivou estimar Evapotranspiração Instantânea (ETi) na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim, localizada no Estado do Rio Grande do Sul. A estimativa de ETi foi realizada a partir do modelo Sebal (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), onde utilizou-se dados orbitais para a implementação do algoritmo. Foram utilizados, da plataforma Landsat 8, dados dos sensores OLI e TIRS. Ainda como dados de entrada no modelo, dados da superfície, obtidos através do sítio do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Além da classificação da cobertura e uso da terra, análise de estatística descritiva e correlação dos dados obtidos de ETi, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e TS (Temperatura da Superfície). A área de estudo é uma das bacias hidrográficas de interesse do projeto Nexus (do qual nosso grupo faz parte, juntamente com a UFRGS, UFSM e outras universidades gaúchas), que busca estimativas das condições ambientais atuais do Pampa para posterior simulação de cenários futuros em função de conversões de uso da terra. Os resultados obtidos pelo modelo, revelam que há variação da evapotranspiração instantânea na área em toda a Bacia Hidrográfica, onde comparadas com a classificação da cobertura da terra, justificam os valores encontrados, além das análises estatísticas das variáveis verificadas. Com a implementação do modelo, os resultados apresentados são satisfatórios.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Evapotranspiração. Sensoriamento Remoto.



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág</u>
Figura 1 - Processos realizados para cálculo do Saldo de Radiação (Rn).....	7
Figura 2 - Processos realizados para cálculo do Fluxo de Calor no Solo (G).....	8
Figura 3 - Processos realizados para cálculo do Fluxo de Calor Sensível (H).....	9
Figura 4 - Processos realizados para cálculo do Fluxo de Evapotranspiração Instantânea (ETi).....	10
Figura 5 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de inverno de 2013 .....	13
Figura 6 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de inverno de 2020 .....	14
Figura 7 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de verão de 2014.....	15
Figura 8 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de verão de 2020.....	16
Figura 9 - A) ETi da bacia hidrográfica em 28/08/2013; B) ETi da bacia hidrográfica em 19/01/2014.....	17
Figura 10 - C) Classificação do Uso e Cobertura da terra 28/08/2013 e D) Classificação do Uso e Cobertura da terra 19/01/2014.....	18
Figura 11 - A) ETi da bacia hidrográfica em 08/03/2020; B) ETi da bacia hidrográfica em 30/07/2020.....	19
Figura 12 - C) Classificação do Uso e Cobertura da terra 08/03/2020 e D) Classificação do Uso e Cobertura da terra 30/07/2020.....	20





## SUMÁRIO

	<u>Pág</u>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo Geral .....	3
1.1.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
2.2.1 Sensoriamento Remoto .....	4
2.2.2 Evapotranspiração .....	4
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	6
<b>4. RESULTADOS</b> .....	12
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	23
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	24



## 1. INTRODUÇÃO

Com a extensa reserva de recursos naturais, o Rio Grande do Sul tem papel de grande importância para a agricultura e pecuária no Brasil.

O bioma Pampa ocupa uma superfície de 176.496 km<sup>2</sup> do território brasileiro, representando 2,07% (IBGE, 2004), o que corresponde a 63% do território estadual (HASENACK et al. 2007). Neste bioma há uma diversidade de espécies animais e vegetais, sendo dominado por ecossistemas campestres. Nos últimos anos, a implantação de monoculturas e a pecuária tem modificado a vegetação nativa.

Conforme Dotto Rubert et. al (2016), a evapotranspiração (ET) é a relação entre balanço de energia e água, onde há a interação entre a atmosfera, biosfera e hidrosfera. Ainda Dotto Rubert et. al (2016), definem que estimativas de evapotranspiração são de grande importância para compreensão do balanço de energia em diferentes biomas. Neste sentido, a evapotranspiração é o segundo componente de maior relevância no ciclo hidrológico, depois da precipitação (BRUTSAERT, 2005).

Devido aos diferentes tipos de cobertura nas bacias hidrográficas, tornando-se um fator limitante para a estimativa da ET, vem sendo desenvolvidos estudos que utilizam imagens de satélite para a estimativa em grandes áreas (BASTIAANSEN, 2000; NAGLER et al., 2005; ALLEN, et al., 2002).

A ET é um componente do ciclo hidrológico que pode ser medida por equipamentos específicos. No entanto, sua medição é difícil e de alto custo. Os resultados estimados são valores pontuais, a adoção destes dados para grandes regiões pode resultar em uma estimativa incorreta de evapotranspiração, devido às diferentes coberturas de solo (FOLHES, 2007).

O conhecimento da ET se torna útil para avaliações de secas agrícolas, estudos de ecossistemas e produtividade agrícola, gerando informações úteis ao planejamento de irrigação e estudos hidrológicos de bacias hidrográficas (ATAÍDE, 2012). O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, é caracterizado por suas geomorfologias e os tipos de cobertura vegetal existentes (LIMA, 1976), ações antrópicas acabam interferindo nos processos do ciclo hidrológico (TONELLO, 2005),

influenciando em processos hidrológicos como a infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração, dentre outros.

Neste contexto o sensoriamento remoto possibilita a estimativa de evapotranspiração em grandes áreas com o curto período de obtenção de dados, oportunizando estudos sazonais. Nos últimos anos, diversos modelos foram desenvolvidos para realizar estimativas de ET. Estes modelos semi-empíricos buscam explorar maiores áreas, e, diferentemente do que ocorre com dados pontuais, realizam a aplicação de técnicas que possibilitam a interpolação/extrapolação das informações pontuais obtidas das estações meteorológicas (MENDES & GIACOMONI, 2008), estimando valores de evapotranspiração em diferentes tipos de cobertura da terra, com implementação eficaz e econômica.

Dentre vários modelos utilizados em pesquisas relacionadas a Bacias Hidrográficas, o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), desenvolvido por Bastiaanssen (1995) e complementado por Allen et al. (2002), vem sendo reconhecido por sua simplicidade na aplicação, utilizando dados radiométricos de sensor remoto orbital que efetue medidas de radiância no espectro do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal e poucas informações da superfície, obtidas através das estações meteorológicas.

Neste sentido, existe o projeto Nexus que tem como principal objetivo avaliar os cenários de conversão agrícola dos campos nativos e seus impactos no bioma Pampa. As áreas de campo vêm sendo usadas de forma inapropriada, causando a perda da cobertura vegetal, erosão do solo, impactando diretamente o meio ambiente (Nabinger, 2008). Visando contribuir com o projeto supracitado, a presente pesquisa objetivou analisar a Evapotranspiração Instantânea ou horária (ET<sub>i</sub>) estimada a partir de dados de sensoriamento remoto (imagens Landsat 8) e sua correlação com a Temperatura de Superfície (TS) e índice de vegetação NDVI na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim localizada no Pampa Brasileiro. Assim, considerou-se diferentes datas de análise para a verificação de possíveis mudanças de cobertura da terra na área de estudo e sua influência na distribuição espacial da ET<sub>i</sub>, TS e NDVI.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estimar a Evapotranspiração Instantânea da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim utilizando sensoriamento remoto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Verificar a distribuição espacial da Temperatura de Superfície e do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada;

Realizar uma análise temporal das mudanças do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica;

Relacionar a Evapotranspiração com os diferentes tipos e mudanças do uso e cobertura da terra;

Correlacionar os dados de Evapotranspiração, Temperatura de Superfície e Índice de Vegetação de Diferença Normalizada.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.2.1 Sensoriamento Remoto

De acordo com Novo (2008), o SR é definido como o uso de sensores acoplados a bordo de aeronaves e outras plataformas que realizam o registro de eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície terrestre. Já para Campbell (1987), é a ciência que obtém informações da superfície terrestre à distância, por meio de imagens.

Lima et al. (2014), diz que “Os dados de SR vem se tornando ferramenta para a determinação de fluxos de superfície e da evapotranspiração”. O SR permite realizar estimativas de evapotranspiração, obtidas pelo termo residual do balanço de energia que descreve as interações físicas entre a superfície e atmosfera, surgindo para suprir a escassez de dados da superfície que implementam os métodos para a obtenção da evapotranspiração (Timmermans & Meijerink, 1999).

### 2.2.2 Evapotranspiração

A ET, é a soma da evaporação da água pela superfície do solo com a transpiração das plantas, pode ser medida por meio de equipamentos, como os lisímetros, estimada por meio do balanço hídrico no solo ou a partir de dados meteorológicos, de sensoriamento remoto aplicados em equações (Allen et al.; 1998). Ainda o autor, define que a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pode ser caracterizada como a evapotranspiração de uma superfície de referência, a qual não possui restrições hídricas, transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, uma superfície completamente coberta de vegetação rasteira com características específicas e bem suprida de água.

Enquanto, Kobiyama (2009) e Tucci (2007) definem que a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>), é a quantidade de água transferida para a atmosfera por meio de processos de evaporação e transpiração, nas condições reais de fatores da atmosfera e umidade do solo, portanto ET<sub>o</sub> > ET<sub>r</sub>.

A ET é uma das variáveis mais importantes no balanço de energia da superfície terrestre,

pois representa a principal saída de água de um sistema e sua condição hídrica. Com o alto custo para a instalação e manutenção de equipamentos que realizam a obtenção de variáveis hidrológicas para o manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais, desenvolveram-se diversos modelos que possibilitam a obtenção dessas variáveis, incluindo a ET. De acordo com Gomes (2009), a principal vantagem destes modelos semi-empíricos é sua aplicabilidade em áreas extensas e heterogêneas.

Dentre os modelos para estimativa de ET destaca-se o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) desenvolvido por Bastiaanssen (1995) e complementado por Allen et al. (2002). Este algoritmo foi desenvolvido para estimar a ETr utilizando imagens de SR e informações meteorológicas da superfície. Este modelo estima a ET de forma espacialmente distribuída, graças à utilização de dados de SR (MEDINA et al., 1998).

Segundo Costa (1997), dados e técnicas de SR podem ser utilizados na estimativa de condições hidrológicas da vegetação e dos solos em bacias hidrográficas. Os índices de vegetação, como o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI), têm sido amplamente utilizados em várias aplicações, incluindo o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal, na classificação do uso da terra (FECHINE; GALVÍNCIO, 2008), monitoramento ambiental e em estudos de ET (ARRAES et al., 2012), que incluem o balanço de energia e a temperatura da superfície (TS). Estudos têm apontado que a modelagem de temperatura da superfície e do NDVI, podem ser utilizados como indicador de seca e para estimativa da umidade do solo e da evapotranspiração (CARLSON, 2007).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram estabelecidas três etapas gerais: processamento de imagens com o cálculo de ETi, TS e NDVI no QGIS 3.10.13; classificação de imagens no Envi 5.3; e análises de estatística descritiva e correção dos dados obtidos.

Os materiais utilizados foram: camada vetorial das bacias otocodificadas da Agência Nacional das Águas - ANA, nível 4. Imagens orbitais do satélite Landsat 8 sensores OLI/TIRS, para as seguintes datas 28/08/2013, 19/01/2014, 08/03 e 30/07 de 2020, correspondentes aos meses de verão e inverno; Modelo Digital do Terreno – SRTM, resolução espacial de 30m; e dados meteorológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, estação localizada no Município de Santa Maria – RS (código 83936).

#### 3.1. Cálculo de ETi, TS e NDVI

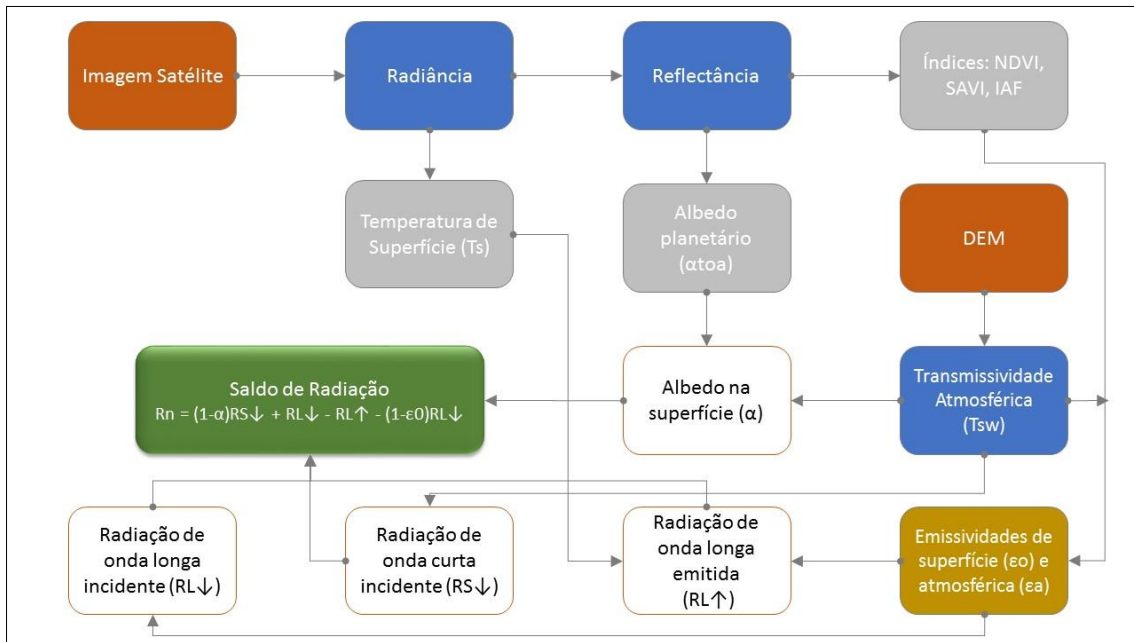
A área da bacia hidrográfica abrange duas órbitas distintas, foram utilizadas cenas que recobrem maior área da bacia, órbita/ponto 223/081. Inicialmente foram realizados cálculos de NDVI e TS no software QGIS 3.10.13, posterior foram realizadas implementações dos dados obtidos na estação meteorológica, na extensão GRASS GIS 7.2.1, com a aplicação da metodologia do algoritmo SEBAL, para o cálculo de estimativa de ETi, os processos foram realizados conforme metodologia proposta por Bastiaanssen (1995).

A estimativa de ETi, conta com cálculos complexos em que são utilizados dados orbitais e meteorológicos. Inicialmente calculado o saldo de radiação ( $R_n$ ) na superfície, que corresponde a energia radiante disponível, considerando os fluxos de energia incidentes e emitidos pela superfície (PESSANHA et al. 2018), que conta com a implementação de dados originadas por de raster, como a TS, calculada a partir da imagem Landsat 8. Os índices NDVI, SAVI (Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo) e IAF (Índice de Área Foliar), foram estimados e utilizados para calcular a emissividade da superfície. O modelo digital de elevação origina a transmissividade atmosférica, utilizada para calcular a emissividade atmosférica e corrigir o albedo na superfície. Estes passos são



ilustrados na Figura 1.

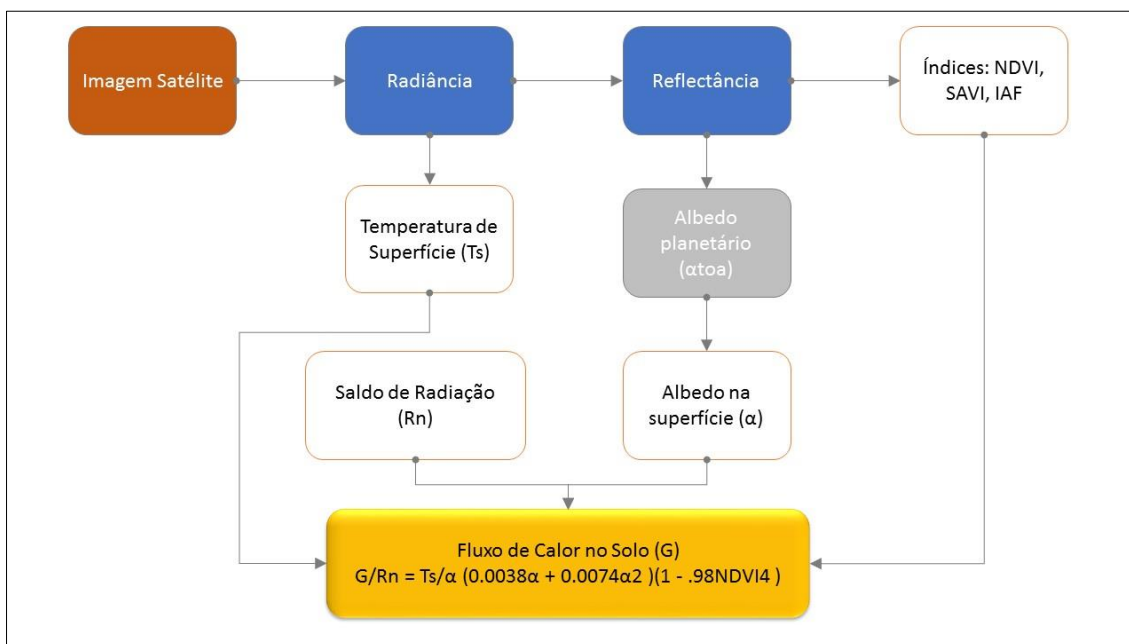
Figura 1 - Processos realizados para cálculo do Saldo de Radiação (Rn)



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Posterior é implementado dados para o cálculo do fluxo de calor no solo (G), correspondente a taxa de armazenamento de calor no solo e na vegetação devido à condução (ALLEN et al., 2002), foi implementado a partir de valores originados das imagens de satélite, utilizando o NDVI, o albedo na superfície, a TS e o Rn calculado anteriormente (Figura 2).

Figura 2 - Processos realizados para cálculo do Fluxo de Calor no Solo (G)



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

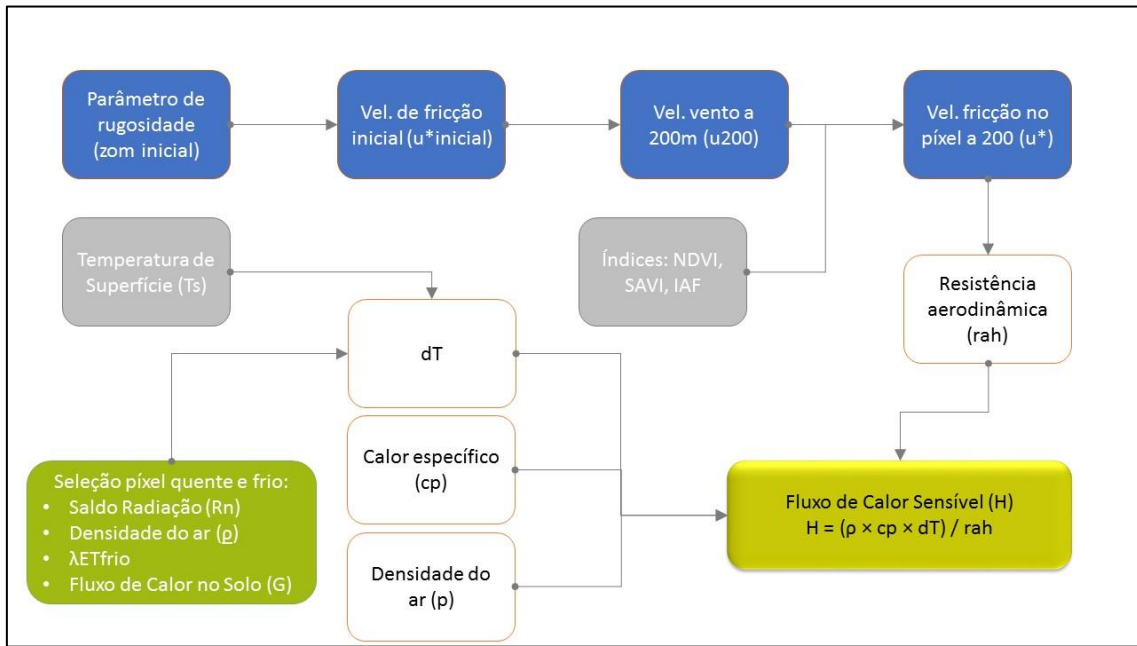
O fluxo de calor sensível (H), de acordo com Allen et al. (2002) “corresponde a taxa de perda de calor para o ar por convecção e condução, devido a uma diferença de temperatura”, é calculado com base em dados da superfície, onde são estimadas variáveis como o parâmetro de rugosidade inicial e a velocidade de fricção considerando atmosfera neutra. Juntamente com o índice SAVI, é possível calcular a velocidade de fricção em cada pixel a 200m. É considerada constante para todos os pixels da imagem, não sendo afetada pelas características da superfície (BASTIAANSEN ET AL. 1998).

Para o passo seguinte é necessário a seleção de pixels âncoras, sendo o pixel frio usado para definir a quantidade de evapotranspiração, que ocorre na imagem de uma área bem irrigada e completamente vegetada. Logo, assume-se que H do pixel frio (Hfrio, Wm<sup>-2</sup>) é nulo, onde a energia disponível do ar será usada para evaporar a água. Já o pixel quente, localiza-se em áreas secas ou em campos vazios, assumindo que não há evaporação. A diferença de temperatura (dT) deste pixel é determinado por meio de Hquente, assumindo que para o pixel quente, o fluxo de calor latente (λET) é nulo.

A partir da determinação dos pixels, é originado um sistema com duas incógnitas, a e b, que integram duas equações. Em função dos efeitos de turbulência na atmosfera,

causando o aquecimento de ar da superfície e afetando as condições atmosféricas e a resistência aerodinâmica (rah), aplica-se a teoria de similaridade de Monin-Obukhov, que utiliza L para avaliar o grau de estabilidade, instabilidade ou neutralidade, essa interação é repETida até dT e rah (resistência aerodinâmica) no pixel "quente" estabilizar, para assim obter o valor de H (BASTIAANSSEN et al., 1998), conforme Figura 3.

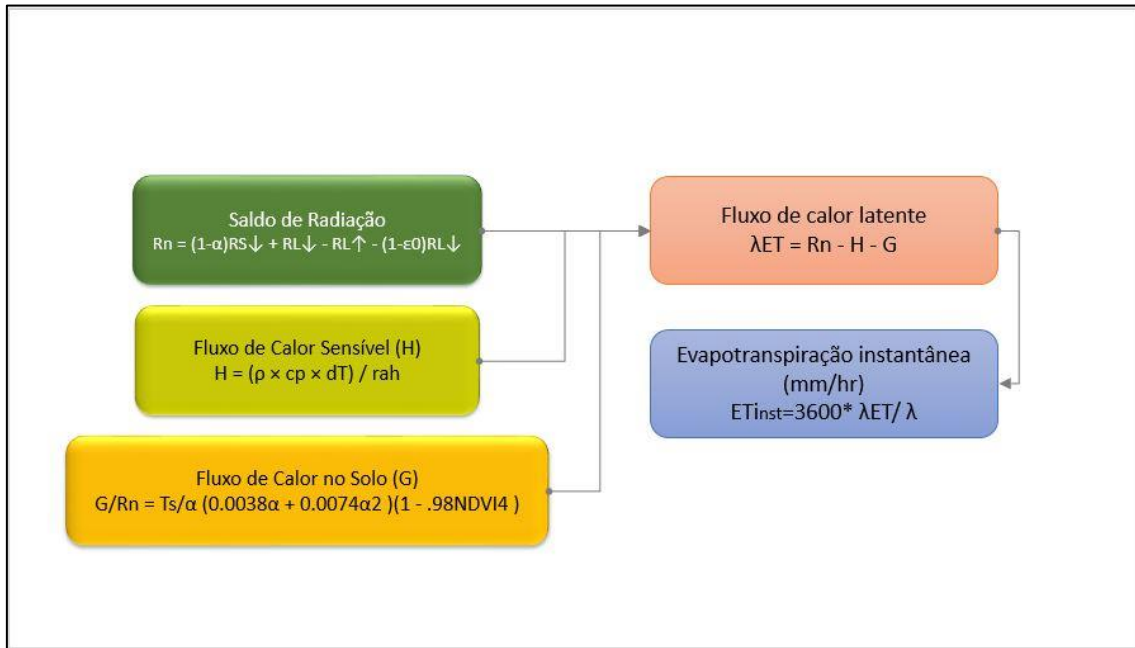
Figura 3 - Processos realizados para cálculo do Fluxo de Calor Sensível (H)



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

De posse das variáveis do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e fluxo de calor sensível, iniciou-se o processo para o cálculo do fluxo de calor latente ( $\lambda ET$ ), é obtido como resíduo na equação do balanço de energia. Segundo Allen et al. (2002), o  $\lambda ET$  “... é a taxa de perda de calor latente da superfície devido à evapotranspiração”. Por fim, a  $ET_i$  é resultando da divisão entre  $\lambda ET$  e calor latente de vaporização, multiplicando-a por 3600 (Figura 4).

Figura 4 - Processos realizados para cálculo do Fluxo de Evapotranspiração Instantânea (ETi)



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

### 3.2. Classificação de imagens

A classificação de imagens foi realizada no *software* Envi 5.3, algoritmo *Maximum Likelihood Classification* (conhecido como MAXVER). O algoritmo Maxver é um classificador pixel a pixel que calcula a probabilidade de um pixel pertencer a uma classe pré-estabelecida (RICHARDS, 1993; SCHOTT, 1997). A partir da análise de diferentes composições coloridas com as bandas de reflectância de superfície foi possível identificar quatro classes de cobertura da terra (vegetação arbórea, campo, área de cultivo 1 – áreas com cobertura vegetal, e área de cultivo 2 – áreas sem cobertura vegetal), sendo coletadas 50 amostras de treinamento para cada classe identificada. Uma máscara de hidrografia do Pampa, disponível na plataforma TerraBrasilis (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/map/deforestation?hl=pt-br>), foi utilizada para as áreas cobertas por represas e rios. As áreas que não se enquadram nas represas e rios e nas classes identificadas foram nomeadas como “não classificadas”.

Para a validação das classificações foram distribuídos 251 pontos de referência de forma regular sobre a área de estudo, totalizando 1004 interpretações. Assim, cada ponto foi analisado considerando as imagens Landsat 8 e imagens alta resolução da plataforma

Google Earth (com datas próximas às imagens utilizadas para as classificações). A partir do cruzamento dos pontos de referência com as imagens classificadas foi possível gerar a matriz de confusão ou matriz de erros para cada data, calculando a acurácia global, do produtor e usuário.

### 3.3. Análises estatísticas

As análises foram realizadas a partir dos mesmos 251 pontos utilizados na etapa anterior, de onde foram extraídos os valores das variáveis: ETi, TS, NDVI e classes de cobertura da terra. Desta forma, calculou-se as estatísticas descritivas para cada variável física (ETi, TS e NDVI), considerando diferentes estações do ano (verão e inverno) e as classes de cobertura para um período de sete anos. Para verificar as relações entre as variáveis supracitadas foi calculado o coeficiente de correção de Pearson com teste de significância estatística ( $\alpha = 0,05$ ). Na análise de mudanças de cobertura realizou-se o cruzamento entre os pontos para duas imagens (2014 e 2020), considerando classe de cobertura, ETi, TS e NDVI.

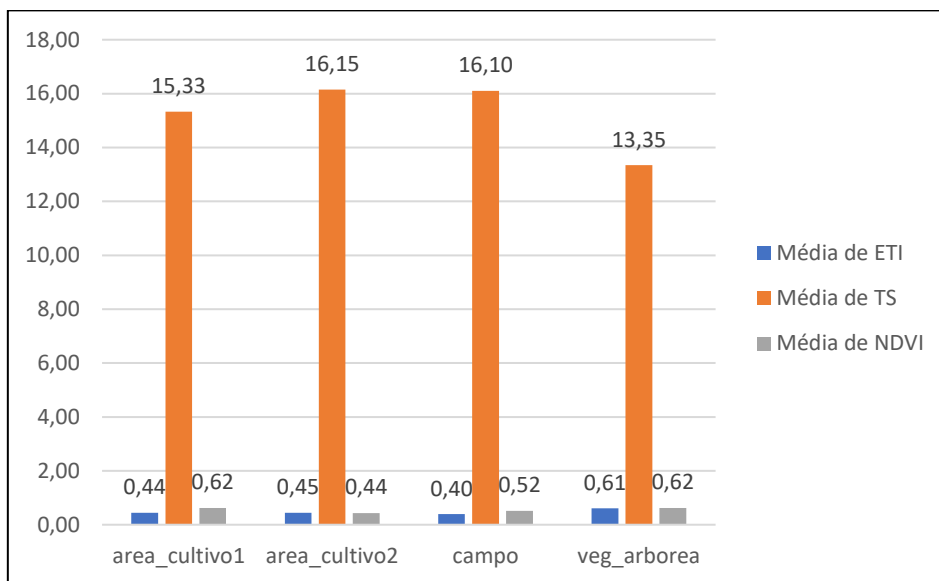
#### 4. RESULTADOS

A partir de estatística descritiva foi possível verificar os valores médios de ETi, TS e NDVI para cada classe em estudo nas quatro imagens analisadas.

Com os resultados obtidos, foram verificados que nas imagens de janeiro/2014 e março/2020, correspondentes ao verão, apresentaram maiores valores de ETi, TS e NDVI. Onde as áreas de vegetação arbórea (matas ciliares e áreas de reflorestamento) e áreas de cultivo agrícola (arroz e soja), apresentaram maiores médias de ETi e NDVI, enquanto maiores médias de TS foram verificadas nas classes de áreas campo e áreas de cultivo sem cobertura vegetal (pousio). Enquanto os valores obtidos nas imagens de agosto/2013 e julho/2020, correspondentes ao inverno, apresentaram maiores valores de ETi para áreas de vegetação arbórea, maiores valores de NDVI para áreas de cultivo agrícola e maiores valores de TS para classes de áreas de cultivo sem cobertura vegetal (pousio).

Na imagem de inverno/2013 (Figura 5), verificou-se que as áreas com vegetação arbórea apresentaram a maior média de ETi, NDVI e menor TS. Em contrapartida, a menor média de ETi foi identificada em áreas de campo por apresentar cobertura vegetal rasteira. A menor média de NDVI e maior TS, foram identificadas em áreas de cultivo sem cobertura vegetal (pousio).

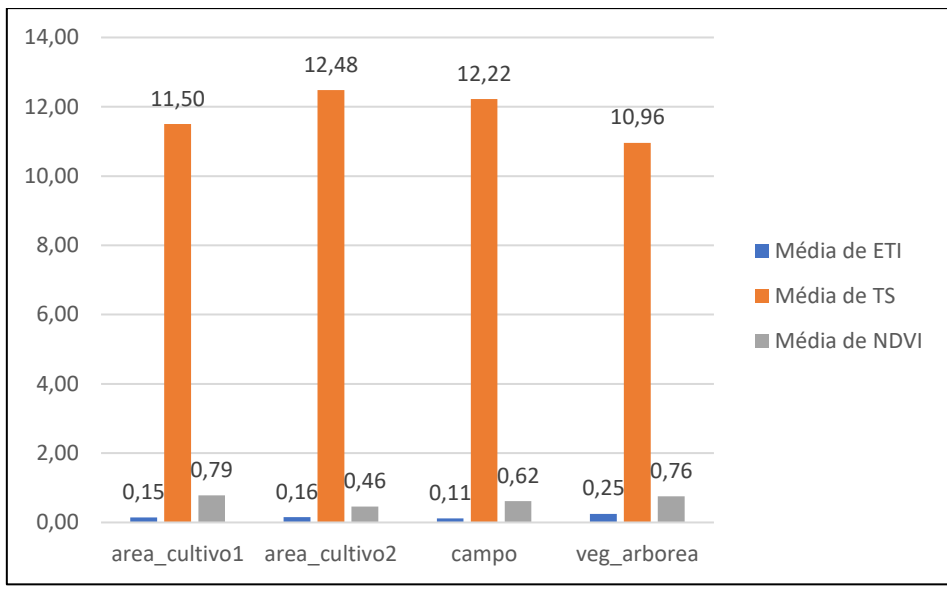
Figura 5 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de inverno de 2013



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Para imagem de inverno/2020 (Figura 6), verificou-se que as áreas com vegetação arbórea apresentaram a maior média de ETi e menor TS. Em contrapartida, a menor média de ETi foi identificada em campo, por apresentar cobertura vegetal rasteira. A maior média de NDVI foi identificada em áreas de cultura agrícola, enquanto a maior média de TS, em áreas de cultivo sem cobertura vegetal (pousio).

Figura 6 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de inverno de 2020

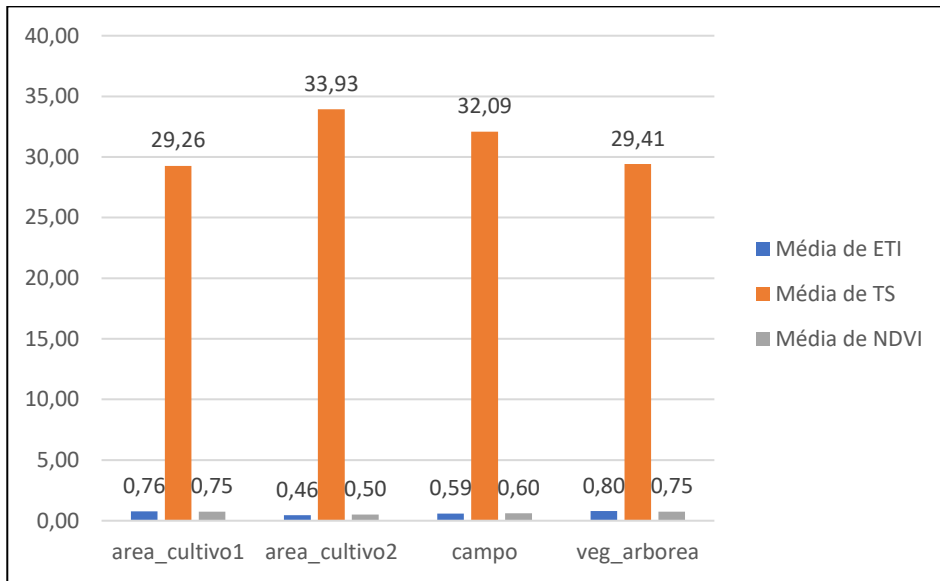


Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Na imagem de verão/2014 (Figura 7), verificou-se que as áreas com vegetação arbórea apresentaram a maior média de ETi. Em contrapartida, a menor média de ETi foi identificada em áreas de cultivo sem cobertura vegetal (pousio), contendo a maior média de TS. Os maiores valores de NDVI e menor TS, correspondem a áreas de cultivo agrícola, conforme a data da imagem, as plantas estão em pleno vigor vegetativo.



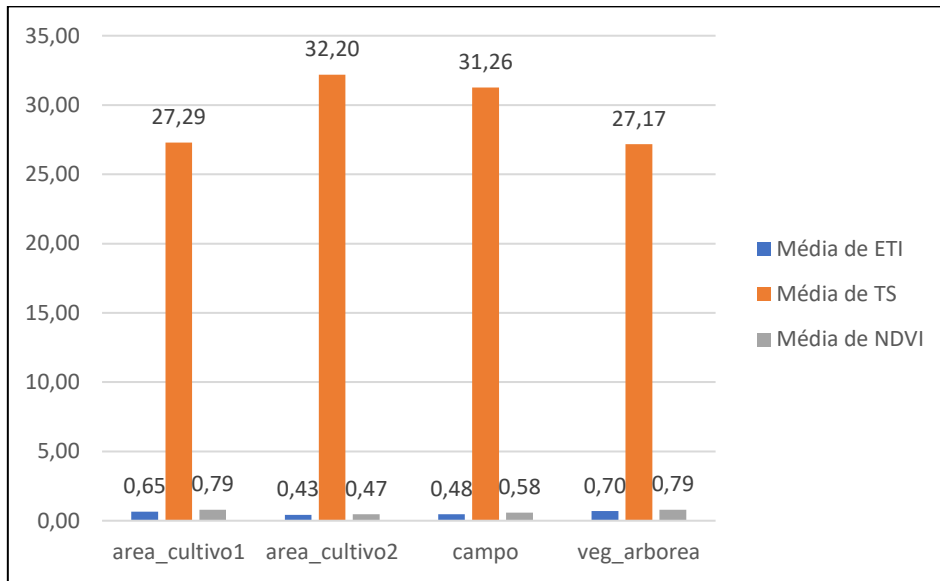
Figura 7 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de verão de 2014



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

E para a imagem de verão/2020 (Figura 8), verificou-se que as áreas com vegetação arbórea apresentaram a maior média de ETi e menor TS. Em contrapartida, a menor média de ETi foi identificada em área de cultivo sem cobertura vegetal (pousio), contendo a maior média de TS. Ainda, verificou-se que a maior média de NDVI, corresponde a áreas de cultivo agrícola.

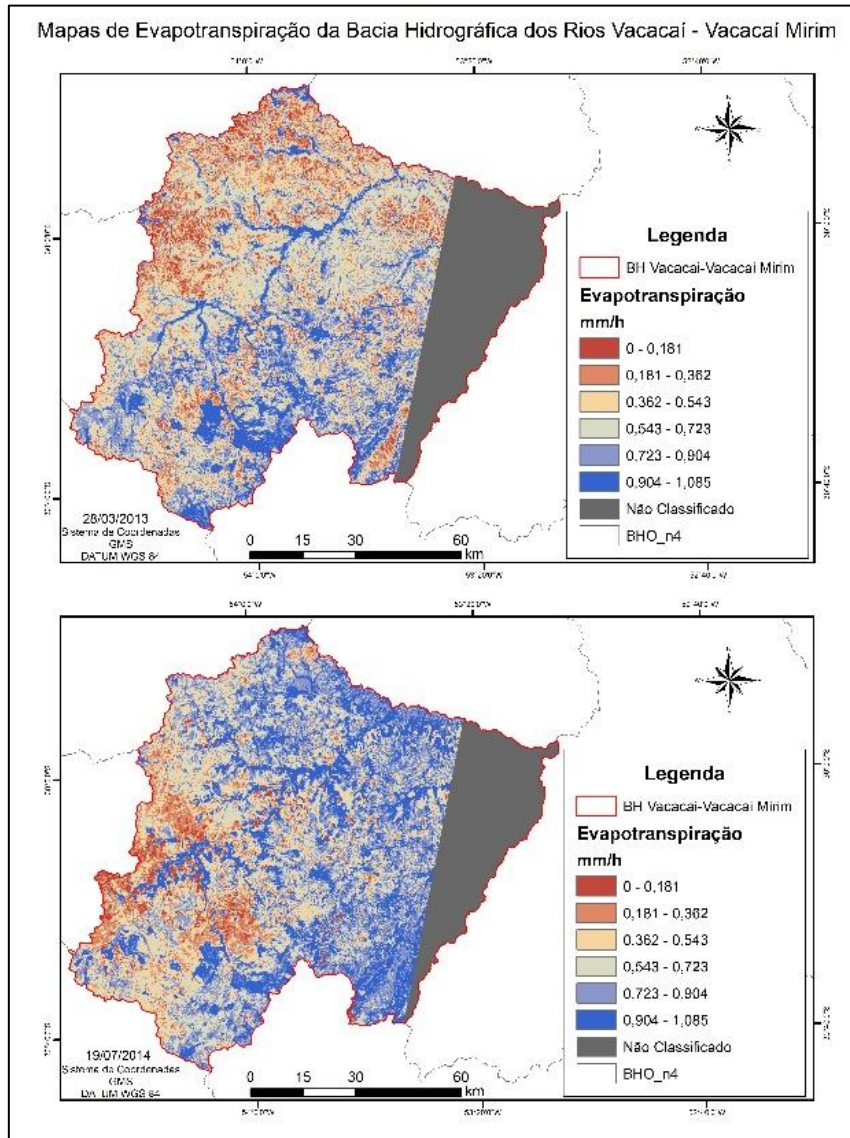
Figura 8 - Valores médios de ETi, NDVI e TS para imagem de verão de 2020



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Com os resultados obtidos, foram gerados os seguintes mapas para as datas analisadas, onde é possível identificar a variação espacial da ETi na Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim:

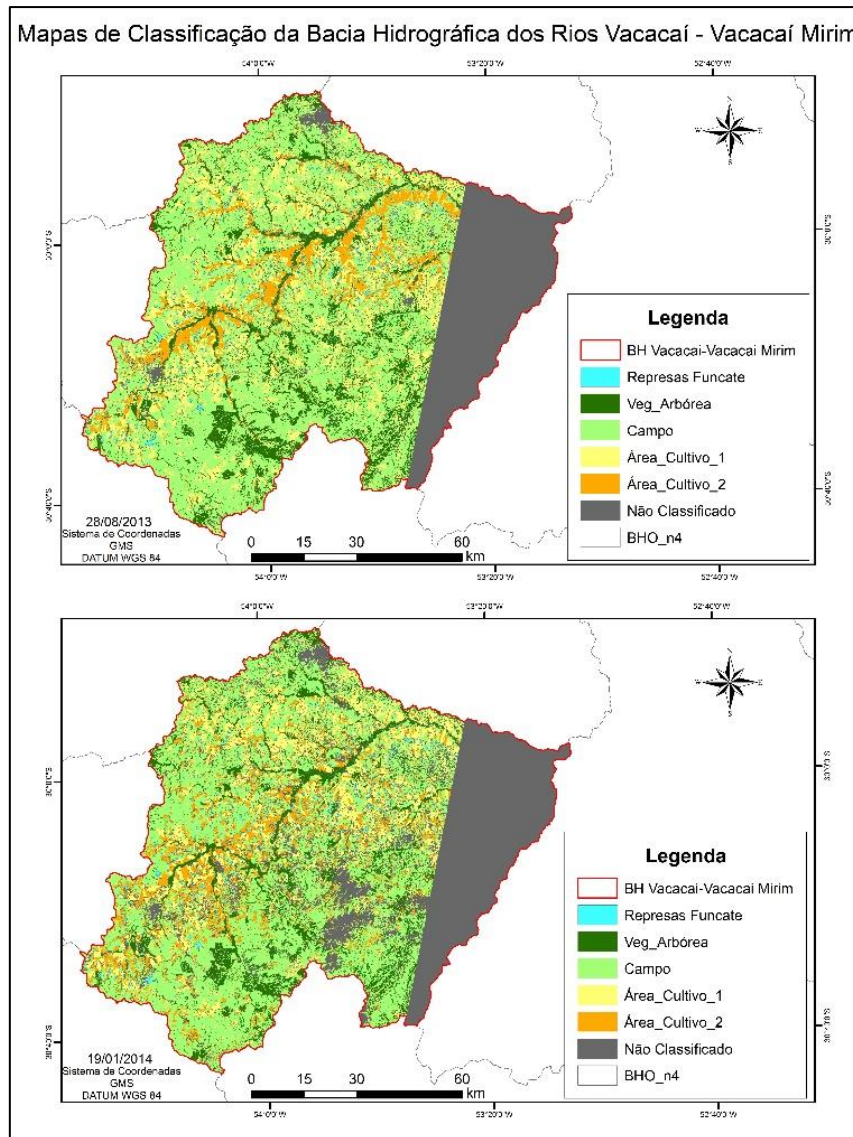
Figura 9 - A) ETi da bacia hidrográfica em 28/08/2013; B) ETi da bacia hidrográfica em 19/01/2014



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

A imagem correspondente ao inverno/2013 houve variação de 0 a 0,78 mm/h, enquanto a imagem correspondente ao verão/2014 houve variação de 0 a 1,08mm/h, onde é possível verificar nos mapas de cobertura da terra para as mesmas datas que os maiores valores encontrados de ETi, correspondem a áreas sem cobertura da terra ou vegetação rasteira (Figura 10).

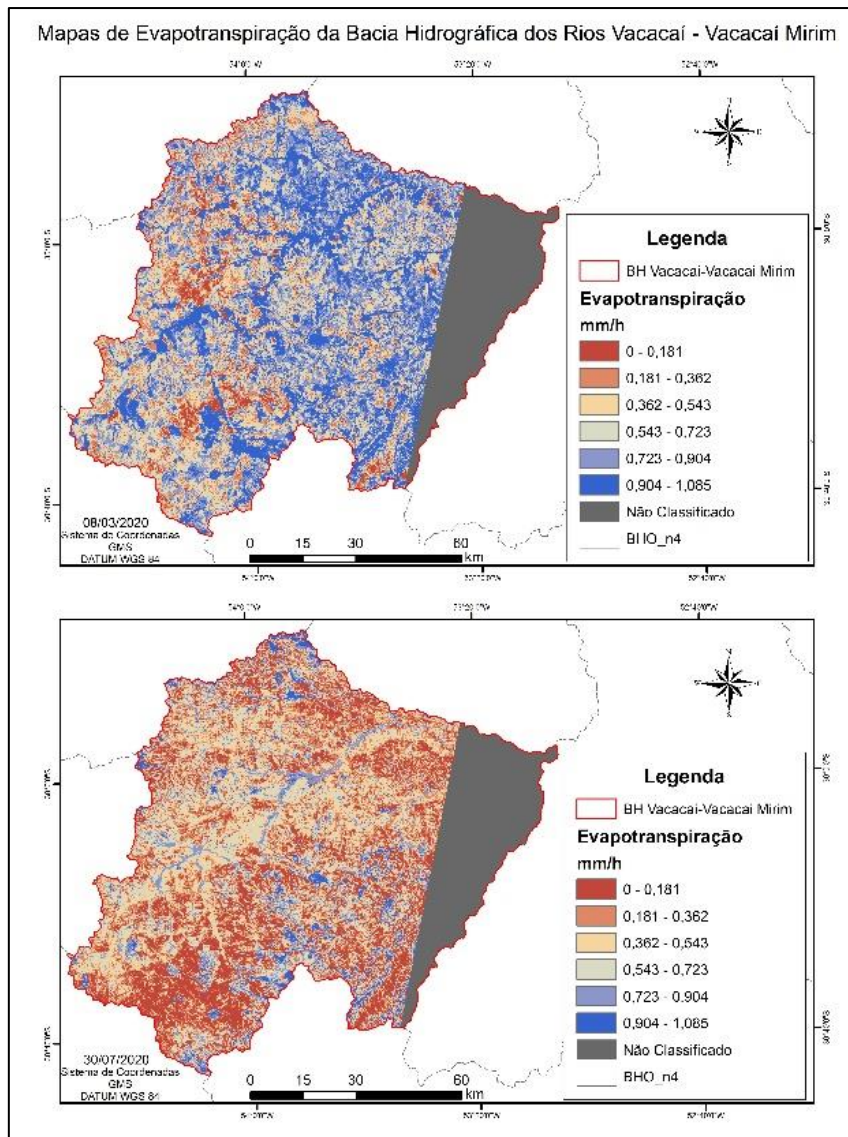
Figura 10 - C) Classificação do Uso e Cobertura da terra 28/08/2013; D) Classificação do Uso e Cobertura da terra 19/01/2014



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Ainda foi realizado a mesma análise para imagens de verão e inverno de 2020, como é ilustrado na Figura 11 e Figura 12.

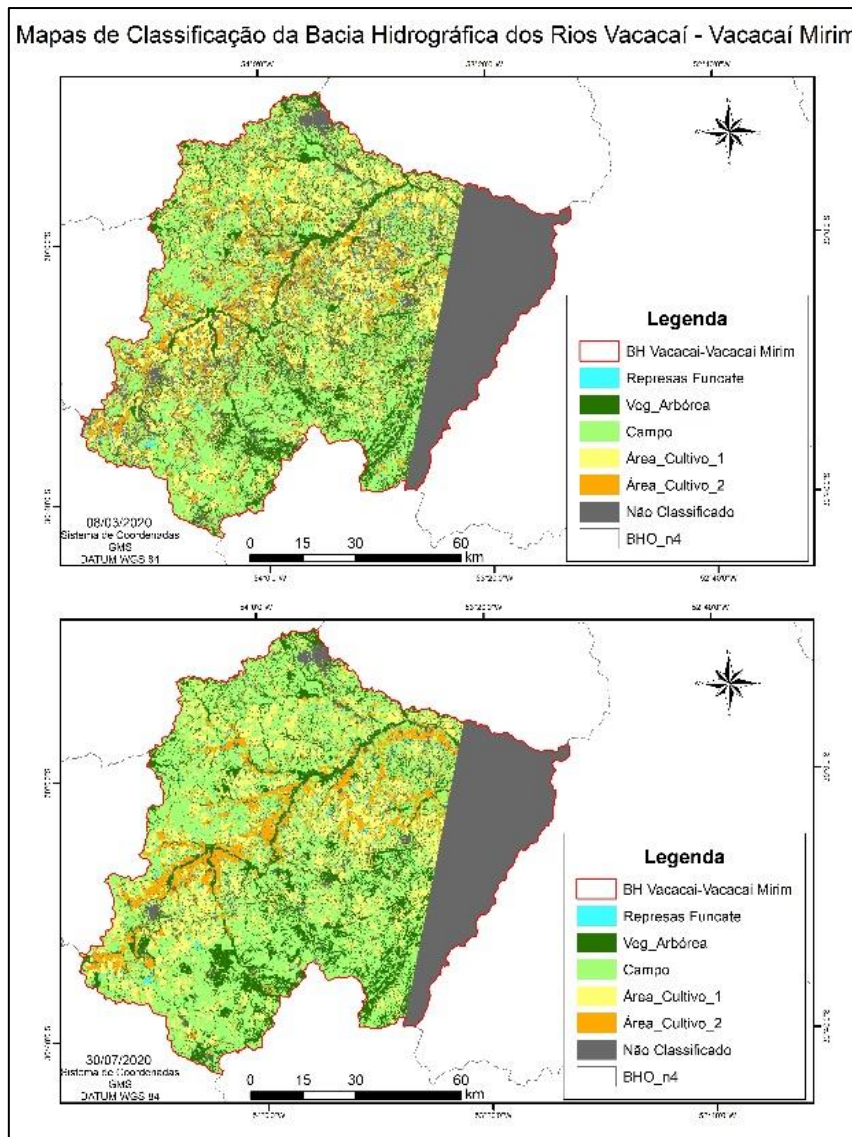
Figura 11 - A) ETi da bacia hidrográfica em 08/03/2020; B) ETi da bacia hidrográfica em 30/07/2020



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

A imagem correspondente ao inverno/2020 houve variação de 0 a 0,62mm/h, enquanto a imagem correspondente ao verão/2020 houve variação de 0 a 0,85mm/h, onde é possível verificar nos mapas de cobertura da terra para as mesmas datas que os maiores valores encontrados de ETi, correspondem a áreas sem cobertura da terra ou vegetação rasteira (Figura 12).

Figura 12 - C) Classificação do Uso e Cobertura da terra 08/03/2020; D) Classificação do Uso e Cobertura da terra 30/07/2020



Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Os cálculos dos coeficientes de correlação de Pearson e significância estatística foram calculados entre evapotranspiração instantânea temperatura da superfície e índice de vegetação normalizada. A partir do cálculo do coeficiente de Pearson foi possível verificar correlações estatisticamente significativas ( $\alpha = 0,05$ ) entre  $ET_i$ ,  $TS$  e  $NDVI$  em todas as imagens analisadas (Tabela 1).

Tabela 1 - Coeficientes de Correlação da área da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí-Vacacaí Mirim-RS

Coeficientes de Correlação				
	28/08/2013	19/01/2014	08/03/2020	30/07/2020
ETi - TS	-0,91	-0,95	-0,95	-0,73
ETi - NDVI	0,30	0,70	0,74	0,30
TS - NDVI	-0,43	-0,69	-0,75	-0,54

Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Verificado os valores de correlação para a imagem de 28/08/2013, foi observado forte correlação negativa entre ETi e TS. Os valores obtidos para a imagem de 09/01/2014, foi observado forte correlação negativa entre a ETi e TS, enquanto correlação positiva de grau regular entre ETi e NDVI. Para a imagem de 08/03/2020, foi observado correlação negativa de grau forte para ETi e TS, enquanto a alta correlação para ETi e NDVI. Por fim, para a imagem de 30/07/2020, foi observado correlação negativa de grau forte entre a ETi e TS e correlação positiva regular entre ETi e NDVI.

Para esta análise pode-se concluir que os resultados obtidos através dos valores extraídos dos pontos distribuídos no perímetro da bacia hidrográfica, condizem com a cobertura da terra, visto que áreas em que foram classificadas como “veg\_arborea” ou “área\_cultivo1” (caracterizada com algum tipo de cultura agrícola) contém uma cobertura da terra, com uma determinada altura de planta tornando-se densa, fazendo com que a temperatura da superfície naquela classe seja menor, do que comparada as demais classes, com coberturas rasteiras ou solo exposto.

Neste trabalho, as correlações para os meses frios são de grau regular para a ETi e NDVI, visto que os meses escolhidos para a realização desta pesquisa correspondem com cultivos de inverno, sendo influenciado diretamente pelo tipo de cultura agrícola e sua densidade de cobertura vegetal e estágio de plantio.

Com o objetivo de verificar a mudança de cobertura da terra influenciaria nos valores de ETi, TS e NDVI, considerou-se as imagens de verão/2014 e verão/2020, onde foram verificados os maiores valores de correlações entre os dados. Neste sentido, avaliando os pontos distribuídos na área de estudo, verificou-se nove situações de mudanças de cobertura da terra para o período analisado (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição de Classes de Mudanças da Cobertura da Terra na área da Bacia Hidrográfica Vacacaí-Vacacaí Mirim - RS

Classes Verão/2014	Classes Verão/2020	ETi 2014	ETi 2020	TS (°C) 2014	TS (°C) 2020	NDVI 2014	NDVI 2020
area_cultivo1	area_cultivo 2	0,78	0,45	29,07	31,72	0,75	0,48
area_cultivo1	campo	0,71	0,42	30,11	31,93	0,73	0,59
area_cultivo2	area_cultivo 1	0,51	0,65	33,31	27,37	0,51	0,78
area_cultivo2	campo	0,36	0,46	35,61	30,91	0,45	0,61
campo	area_cultivo 1	0,55	0,63	32,50	28,01	0,59	0,79
campo	area_cultivo 2	0,54	0,37	32,88	32,76	0,53	0,46
campo	veg_arborea	0,73	0,66	30,06	27,68	0,65	0,79
veg_arborea	area_cultivo 1	0,85	0,63	28,35	28,14	0,75	0,72
veg_arborea	campo	0,7	0,61	30,98	29,44	0,71	0,67

Fonte: Alessandra Moraes (2021).

Para o período da análise, a classe de mudança de cobertura area\_cultivo1/2014 para area\_cultivo2/2020, foi observado uma diferença de 0,33mm/h, enquanto as classes área cultivo2/2014 para area\_cultivo1/2020, um aumento de 0,14mm/h de ETi. Enquanto a TS, classes de area\_cultivo2/2014 para area\_cultivo1/2020, uma redução de 5,94°C e as classes de area\_cultivo1/2014 para area\_cultivo2/2020, um acréscimo de 2,65°C. Da mesma forma para o NDVI, onde as maiores diferenças correspondem as classes de mudanças area\_cultivo1/2014 para area\_cultivo2/2020 e nas classes de area\_cultivo2/2014 para area\_cultivo1/2020.



## **5. CONCLUSÃO**

Com o desenvolvimento desta pesquisa, foi possível verificar a distribuição espacial das variáveis ETi, TS e NDVI na Bacia Hidrográfica, a relação destas com os diferentes tipos de coberturas de uso da terra, em escala temporal para imagens de verão de 2014 e 2020, e a verificação dos valores obtidos em uma análise estatística entre as variáveis. De forma geral, as atividades desempenhadas foram realizadas e executadas de forma satisfatória.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, v. 56, 300 p., 1998.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSEN, W. G. M.; WATERS, R. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land - Idaho Implementation - Advanced Training and Users Manual, Version 1.0, 2002, 98p.

ARRAES, F.D.D.; ANDRADE, E.M.; SILVA, B.B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. Revista Caatinga, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.

ATAÍDE, Kleber Renato da Paixão. MODELAGEM DE DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL PARA O BIOMA CERRADO POR MEIO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL. 2012. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, Instituto de Geociências – Ig, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, 2012.

BASTIAANSEN, W.G.M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: a remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. 1995. 272 p. Tesis, (PhD Dissertation - CIP Data Koninklijke Bibliotheek), Den Haag, 1995.

BASTIAANSEN, W. G.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. Journal of Hydrology, v. 212-213, p. 198-212, 1998.

BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. Journal of Hydrology, v.212-213, p.213- 229, 1998.

BRUTSAERT, W.H. Hydrology An Introduction. Cambridge University Press. New York, 2005. 605p.

CAMPBELL, J.B. -1987- Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, London. 551p. CARLSON, T. An overview of the “Triangle Method” for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. Sensors, Basel, v.7, p.1612-

1629, 2007.

CARLSON, Toby. An Overview of the. Sensors, [S.L.], v. 7, n. 8, p. 1612-1629, 24 ago. 2007. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s7081612>.

COSTA, M.C. Estimativa da Evapotranspiração Regional por Meio de Imagens Orbitais. Viçosa. MG: UFV. 1997, 52p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

DOTTO RUBERT, G. C.; ROBERTI, D. R.; BORTOLUZZI DIAZ, M.; LEAL DE MORAES, O. L. Estimativa da evapotranspiração em área de pastagem em Santa Maria - RS. *Ciência e Natura*. 2016. ISSN: 0100-8307.

FECHINE, J.A.L.; GALVÍNCIO, D.J. Índice de vegetação por diferença normalizada das cidades de Salgueiro, Mirandiba, Carnaubeira da Penha e Floresta – localizadas no semiárido pernambucano. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.2, n.3, p. 60-67, 2008

FOLHES, M. T. Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos. 189 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). INPE. São José dos Campos, 2007.

GOMES, H.B. Balanço de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais. Tese de Doutorado em Meteorologia, UFCG, Campina Grande – PB. 2009.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P. & COSTA, B. S. C. 2007. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: Dall’agnol, M.; Nabinger, C.; Sant’Anna, D. M. & Santos, R. J. eds. II Simpósio de Forrageiras e Produção Animal. Porto Alegre, Depto. Forrageiras e Agrometeorologia/UFRGS, p. 15-21.

IBGE. Mapa da vegetação do Brasil e mapa dos biomas do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004.

KOBIYAMA, M. Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais. 1ª edição. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2009. p 152, 156, 157

LIMA, Evaldo de Paiva et al. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. *Revista Ceres*, [s.l.], v. 61, n. 1, p.17-27, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-737x2014000100003>.

- LIMA, W.P. Princípios de manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.
- MEDINA, J.L.; E. CAMACHO; J. RECA, R. LÓPEZ; J. ROLDÁN. Determination and analysis of regional evapotranspiration in Southern Spain based on Remote Sensing and GIS. *Physical Chem. Earth*, v. 23, n. 4, p. 427-432, 1998.
- MENDES, Carlos; GIACOMONI, Marcio. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 33-42, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v13n4.p33-42>.
- NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações. São Paulo: Blucher, 2008.
- NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. Avanços no manejo do pasto para a produção bovina. In: III Jornada Técnica em sistemas de produção de bovinos de corte e cadeia produtiva: a pecuária que dá certo, 2008, Porto Alegre. Anais...Porto Alegre: NESPRO/UFRGS, 2008. p. 21-70
- NAGLER, P. L. et al. Evapotranspiration on western U.S. rives estimated using the Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy correlation and Bowen ratio flux towers. *Remote Sensing of Environment*, v. 97, p. 337-351, 2005.
- PESSANHA, M. dos S.; LYRA, G. B.; LIMA, E. de P.; CORREIA, T. P. Saldo de radiação estimado pelo algoritmo SEBAL em área urbana, Santa Cruz, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 20., 2018, Maceió. Desafios do monitoramento meteorológico: anais. Maceió: UFAL, 2018. p. 3775-3786.
- RICHARDS, J. A. Remote sensing digital image analysis: an introduction. 2ed. New York: Springer-Verlag, 1993.340p.
- SCHOTT, J. R. Remote Sensing: the image chain approach. New York: Oxford University, 1997.394p.
- TIMMERMANS WJ; MEIJERINK AMJ (1999) Remotely sensed actual evapotranspiration: implications for groundwater management in BoTswana. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 1:222-233.

TUCCI, E. M. et al. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4a edição. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ABRH, 2007. p 269, 270, 277, 278.

TONELLO, K.C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005