



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

CARLOS EDUARDO SANTOS DE LIMA

**IMPACTO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NO BALANÇO DE ENERGIA E NA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

Recife

2019

CARLOS EDUARDO SANTOS DE LIMA

**IMPACTO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NO BALANÇO DE ENERGIA E NA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Área de concentração:** Gestão e Políticas Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Sandra de Oliveira Costa

Coorientadora: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio

Recife  
2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicéa Alves Silva, CRB4-1260

L127i Lima, Carlos Eduardo Santos de.  
Impacto das ações antrópicas no balanço de energia e na evapotranspiração real em bacia hidrográfica do semiárido de Pernambuco / Carlos Eduardo Santos de Lima. – 2019.  
127 f.: il.; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Valéria Sandra de Oliveira Costa.  
Coorientadora: Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.  
Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2019.  
Inclui referências.

1. Meio ambiente. 2. Balanço de energia automatizado. 3. Landsat 8 OLI. Linguagem python. 4. SEBAL. I. Costa, Valéria Sandra de Oliveira (Orientadora). II. Galvêncio, Josiclêda Domiciano (Coorientadora). III. Título

363.7 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2020-013)

CARLOS EDUARDO SANTOS DE LIMA

**IMPACTO DAS AÇÕES ANTRÓPICAS NO BALANÇO DE ENERGIA E NA  
EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 28/08/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Valéria Sandra de Oliveira Costa (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Coorientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes (Examinador Externo)  
Universidade de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr. Ygor Cristiano Brito Morais (Examinador Externo)  
Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes

Aos meus pais e irmãos, estes são a razão de todo o meu esforço,

Trabalho e persistência!

Sem vocês, já não teria sentido, tudo isso...

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, ser este, que me dera a oportunidade de aqui estar evoluindo e, contribuindo com meus esforços, de forma singela, porém algo que deixara-me vívido, com um novo alvorecer diário.

Agradeço ao meu pai, amigo inimaginável, que acompanhara-me na senda da vida, desde sempre, com o amor mais puro e afável que eu pude apreciar. Desde que vi à vida, percebi o anjo que Deus me deu, a oportunidade da convivência diária. Pai, sem você, jamais seria o que represento hoje, obrigado por tudo que me fizeste; homem de procedência singular, simpatia jamais vista na face da Terra, humilde, amoroso, inteligente e sábio. Pacífico, cuja bonança é alastrada aos mais próximos, de forma sutil, auxiliara-me com palavras balsâmicas, para um acadêmico solitário. A minha mãezinha, pelo amor e carinho complacente, que me envolvera por anos, agradeço aos cuidados que fizera por mim, agradeço a ti, quiçá a mãezinha perfeita, quiçá a mãe que mereci nesta vida.

Agradeço aos irmãos consanguíneos, que tanto amo, Eveline e Fernando, pelo apoio, incentivo e amor fraternal indelével. Sempre vos amarei, independente da distância que nos encontramos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e incentivo financeiro, que fora de grande relevância para que a presente pesquisa fosse possível.

A minha orientadora, Professora Dra. Valéria Sandra de Oliveira Costa, por todo o auxílio realizado a meu favor, professora, jamais esquecerei a grande orientadora que pude alçar na UFPE, os estímulos da senhora, foram e são de fundamental relevância em minha carreira, grato a toda atenção de mãe, orientadora e amiga, tornas-te mais uma pessoa fundamental em minha vida, obrigado por tudo; sobretudo à confiança em meu potencial acadêmico.

Agradeço a minha coorientadora, Professora Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio, pela oportunidade de compor vosso grupo de pesquisa “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO”, podendo aperfeiçoar-me no conhecimento do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, agradeço às grandes contribuições nas disciplinas, nas orientações e, sobretudo na credibilidade depositada para que eu pudesse fomentar a presente pesquisa; agradeço por tudo, antes de nos conhecermos pessoalmente, a senhora já me inspirava através

dos incontáveis artigos científicos publicados em inúmeras revistas nacionais e internacionais, lhe agradeço por tudo, foi um prazer em conhece-la.

Agradeço a todos os professores do curso do Mestrado, em destaque à professora Dra. Edvânia Torres, a mesma mostrou ser um ser humanos admirável, obrigado as contribuições salutares professora, pessoais e acadêmicas. Ao professor Dr. Claudio Castilho, pelas modelações realizadas em curso, ao conhecimento partilhado em sala de aula, às contribuições benéficas posta para todos.

Aos meus amigos do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO, vocês lograram mais uma pessoa em vossas vidas, obrigado por todo carinho, atenção e conhecimento partilhado em todo o momento dos dias. Em especial, à Pedro Paulo, tornamo-nos amigos inseparáveis, onde sempre pude aprender com este jovem incrível, informações acadêmicas e sobre a vida, meu amigo, sou grato a tudo o que fizeste ao meu favor, jovem de procedência singular, forte abraço, meu irmãozinho. Agradeço ao Pedro Ferreira, Marina, Jadson, Yenê, Viviane, Rodrigo, Pedro Brito, Josimar Reis, Beth, e a todos que não cito neste momento, porém, estarão de forma indelével em meus pensamentos e no meu peito. Em especial, à Ygor Cristiano “Tio Ygor”, pelo carinho, paciência e informações sobre os processamentos relacionados ao SEBAL, fico grato por sua disposição e informações preciosas, obrigado Ygor.

Ao prof. Dr. Bernardo Barbosa, pelo conhecimento disponibilizado sobre o SEBAL, sempre disponível à auxiliar aqueles que são sedentos ao conhecimento científico.

Ao Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes, este que cito, foi o grande precursor de todo a minha caminha acadêmica, o mesmo a quem tenho elevada estima, ensinou-me grandes coisas da vida, sobretudo à academia, amago onde pude fomentar uma grande amizade. Dantas, obrigado por tudo, nunca esquecerei toda as suas benfeitorias ao meu favor, forte abraço.

Ao meu tio, Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima, pelo incentivo a me tornar um acadêmico, e a torcida para que eu chegasse cada vez mais distante, na senda infindável da academia. Agradeço por tudo tio.

Por fim, aos familiares, companheiros de labuta diária, amigos, colegas e, todos, que de forma mais singela, contribuiu com o fomento de minha pesquisa e estudos.

## RESUMO

Com o crescimento populacional, crescem também as demandas dos recursos naturais, destacando às necessidades em torno dos recursos hídricos. Possuir as informações do Balanço de Energia e Balanço Radiativo, é de inestimável valor, para que esses dados auxiliem na gestão e planejamento dos recursos hídricos, sobretudo áreas de agricultura irrigada, pelo uso consuntivo da água. Teve-se como objetivo geral, analisar a influência do uso e cobertura da terra sobre as estimativas do Balanço de Energia (BE) e da Evapotranspiração Real - ETr na bacia hidrográfica citada. Para a realização da presente pesquisa, foi aplicado o algoritmo SEBAL, de forma manual no *software* ERDAS IMAGINE 2014 e automatizada no GRASS GIS 7.4 utilizando então, um script desenvolvido em código Python 3.7, visando a viabilidade da aplicação do algoritmo SEBAL de forma automatizada. Foram realizadas análises comparativas de todos os elementos do Balanço de Energia e Evapotranspiração Real – ETr, geradas manualmente e automaticamente. Para a realização da pesquisa, utilizou-se uma cena do Landsat 8 OLI, datada do dia 3 de setembro de 2013, este período corresponde ao período seco no Sertão de Pernambuco, local onde foram realizados os experimentos, mais precisamente na Bacia Hidrográfica do Riacho das Garças – PE. Pode-se citar as correlações da ETr, qual seja,  $r = 0,98$ ,  $R_n$  24 h, qual seja,  $r = 0,95$ , LE, qual seja,  $r = 0,98$ , H, qual seja,  $r = 0,99$ , G, qual seja,  $r = 0,94$  e  $p R_n,inst$ , qual seja,  $r = 0,98$ . Esses valores comprovam a coerência do balanço de energia estimado de forma automatizada. Os valores do balanço de energia – BE, não possuiu uma correlação perfeita,  $r = 1,0$ , devido a resolução radiométrica das imagens, onde no ERDAS foram de 32 bits, e no GRASS GIS foram de 64 bits, alterando os decimais das estimativas, por tanto, levando a estimativa automatizada a uma leve superestimativa dos valores. Os resultados encontrados indicaram uma baixa diferença entre as estimativas e forte correlação. Pode-se então, concluir que há uma grande relevância das aplicações automatizadas do algoritmo SEBAL em *softwares* GRASS GIS, devido aos bons resultados encontrados nas estimativas.

Palavras-Chave: Balanço de energia automatizado. Landsat 8 OLI. Linguagem python. SEBAL.

## ABSTRACT

With population growth, the demands of natural resources also grow, highlighting the needs around water resources. Having information from the Energy Balance and Radiation Balance is invaluable, so that this data helps in the management and planning of water resources, especially areas of irrigated agriculture, by the consumptive use of water. The general objective was to analyze the influence of land use and land cover on Energy Balance (BE) and Real Evapotranspiration - ETr estimates in the mentioned watershed. To perform this research, the SEBAL algorithm was applied manually in the ERDAS IMAGINE 2014 software and automated in GRASS GIS 7.4 using a script developed in Python 3.7 code, aiming at the feasibility of applying the SEBAL algorithm in an automated manner. Comparative analyzes were performed of all elements of the Energy Balance and Real Evapotranspiration - ETr, generated manually and automatically. For the research, we used a scene from Landsat 8 OLI, dated September 3, 2013, this period corresponds to the dry period in the Sertão de Pernambuco, where the experiments were performed, more precisely in the Watershed Riacho das Garças – PE. We can cite the correlations of ETr, that is,  $r = 0.98$ ,  $R_n$  24 h, that is,  $r = 0.95$ , LE, that is,  $r = 0.98$ , H, that is,  $r = 0.99$ , G, that is,  $r = 0.94$  and  $R_n$ , int, that is,  $r = 0.98$ . These values prove the consistency of the estimated energy balance in an automated way. The energy balance values - EB, did not have a perfect correlation,  $r = 1.0$ , due to the radiometric resolution of the images, where in ERDAS were 32 bits, and in GRASS GIS were 64 bits, changing the decimals of the estimates. therefore, leading the automated estimation to a slight overestimation of the values. The results indicated a low difference between the estimates and strong correlation. It can be concluded that there is a great relevance of automated applications of SEBAL algorithm in GRASS GIS software, due to the good results found in the estimates.

Keywords: Automated energy balance. Landsat 8 OLI. Python language. SEBAL.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE .....	29
Figura 2 - Imagem Orbital da bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE.....	31
Figura 3- Fluxograma dos Processo que antecedem o SEBAL.....	36
Figura 4 - Fluxograma do saldo de radiação à superfície.....	37
Figura 5 - Fluxograma do processo iterativo de obtenção do fluxo de calor sensível – H.....	48
Figura 6 - Imagem reamostrada de 30 para 15 metros, do lado esquerdo da figura, encontra-se a imagem A. 15 m; ao lado direito, a B. 30 m sem tratamento. ....	58
Figura 7 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra, da Bacia Hidrográfica do Riacho das Garças – PE.....	59
Figura 8 - Mapa da Transmissividade computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). ....	61
Figura 9 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada da Transmissividade Atmosférica ( $T_{sw}$ ) .....	62
Figura 10 - Mapa do Albedo de Superfície computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). ....	65
Figura 11 – Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Albedo de Superfície ( $\alpha_{sup}$ ).....	66
Figura 12 - Mapa da Temperatura da Superfície computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). ....	69
Figura 13 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Temperatura da Superfície ( $T_{sup}$ ).....	70
Figura 14 - Mapa do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). ....	74
Figura 15 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI) .....	75
Figura 16 - Mapa do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). ....	78
Figura 17 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do SAVI.....	79
Figura 18 - Mapa do Índice de Área Foliar - IAF, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). ....	82

Figura 19 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra, em relação aos três índices de vegetação, NDVI, SAVI e IAF.....	83
Figura 20 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do IAF.....	84
Figura 21 - Mapa da Estimativa do Saldo de Radiação (Rn), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).....	88
Figura 22 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra, em relação aos três índices de vegetação, Albedo, Temperatura da Superfície e Saldo de Radiação. ....	89
Figura 23 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Saldo de Radiação (Rn) .....	90
Figura 24 - Mapa da Estimativa do Fluxo de Calor no Solo (G), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).....	93
Figura 25 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Albedo de Superfície ( $\alpha$ ), Saldo de Radiação (Rn) e o Fluxo de Calor no Solo (G).....	94
Figura 26 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Fluxo de Calor no Solo (G) .....	95
Figura 27 - Mapa da Estimativa do Fluxo de Calor Sensível (H), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).....	98
Figura 28 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Saldo de Radiação (Rn), Fluxo de Calor no Solo (G) e o Fluxo de Calor Sensível (H) .....	99
Figura 29 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Fluxo de Calor Sensível (H) .....	100
Figura 30 - Mapa da Estimativa do Fluxo de Calor Latente (LE), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).....	102
Figura 31 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Fluxo de Calor no Solo (G), Fluxo de Calor Sensível (H) e o Fluxo de Calor Latente (LE).....	103
Figura 32 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Fluxo de Latente (LE).....	104
Figura 33 - Mapa das Estimativa do Saldo de Radiação 24 h, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).....	106

Figura 34 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Fluxo de Calor Sensível (H), Fluxo de Calor Latente (LE) e o Saldo de Radiação 24h (Rn-24h).....	107
Figura 35 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Saldo de Radiação 24h (Rn-24h).....	108
Figura 36 - Mapa das Estimativa da Evapotranspiração Real (ETr mm dia <sup>-1</sup> ), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem). .....	111
Figura 37 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Albedo de Superfície ( $a_s$ ), Saldo de Radiação ( $R_n$ ) e a Evapotranspiração Real (ETr) .....	112
Figura 38 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada da Evapotranspiração Real (ETr) .....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios banhados pela bacia hidrográfica do riacho das Garças - PE.....	30
Tabela 2 - Referência de resolução do sensor LANDSAT 8 OLI e TIRS.....	32
Tabela 3 - Datas das imagens com o dia juliano, $d_r$ e o $\cos \theta$ .....	39
Tabela 4 - Data e velocidade do vento para a cena em estudo .....	49
Tabela 5 - Informações do uso e ocupação da terra, da bacia hidrográfica do riacho das Garças- PE.....	60
Tabela 6 - Dados comparativos da Transmissividade Obtida de Forma Manual e Automatizada .....	61
Tabela 7 - Dados comparativos do Albedo Obtido de Forma Manual e Automatizada.....	65
Tabela 8 - Dados comparativos da Temperatura da Superfície Obtida de Forma Manual e Automatizada.....	69
Tabela 9 - Dados comparativos do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, Obtida de Forma Manual e Automatizada.....	74
Tabela 10 - Dados comparativos do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Obtida de Forma Manual e Automatizada.....	78
Tabela 11 - Dados comparativos do Índice de Área Foliar – IAF, obtida de Forma Manual e Automatizada.....	82
Tabela 12 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Saldo de Radiação Obtido de Forma Manual e Automatizada. ....	88
Tabela 13 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Fluxo de Calor no Solo Obtido de Forma Manual e Automatizada.....	93
Tabela 14 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Fluxo de Calor Latente (LE) Obtido de Forma Manual e Automatizada.....	98
Tabela 15 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Saldo de Radiação 24h (R <sub>n</sub> – 2h) Obtido de Forma Manual e Automatizada. ....	102
Tabela 16 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores da Evapotranspiração Real (E <sub>Tr</sub> mm dia <sup>-1</sup> ), obtido de Forma Manual e Automatizada. ....	106

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1	OBJETIVOS.....	20
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	20
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	21
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA E RECURSOS HÍDRICOS .....	21
2.2	SENSORIAMENTO REMOTO.....	24
2.3	ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO .....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	29
3.2	DADOS RADIOMÉTRICOS.....	30
3.2.1	<b>Características Físicas da Imagem Orbital do Landsat 8 OLI/TIRS</b> .....	31
3.3	DADOS CARTOGRÁFICOS.....	33
3.3.1	<b>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</b> .....	33
3.3.2	<b>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</b> .....	33
3.3.3	<b>United States Geological Survey</b> .....	33
3.3.4	<b>Dados altimétricos</b> .....	33
3.4	SOFTWARES .....	34
3.4.1	<b>ArcGi<sup>s</sup>® 10.4.1</b> .....	34
3.4.2	<b>QGIS® 3.0.3</b> .....	34
3.4.3	<b>ERDAS® 2014</b> .....	34
3.5	PROCEDIMENTOS QUE ANTECEDEM O PROCESSAMENTO DO SEBAL.....	35
3.6	OBTENÇÃO DO SALDO DE RADIAÇÃO (RN).....	37
3.6.1	<b>Calibração Radiométrica</b> .....	38
3.6.2	<b>Reflectância</b> .....	38
3.6.2.1	Reflectância com Correção Para o Ângulo de Elevação Solar.....	39
3.6.3	<b>Albedo Planetário ou Albedo do Topo da Atmosfera (<math>\alpha_{toa}</math>)</b> .....	40
3.6.4	<b>Transmissividade Atmosférica</b> .....	40
3.6.5	<b>Albedo da Superfície (<math>\alpha</math>)</b> .....	41
3.6.6	<b>Índices de Vegetação (NDVI, SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF)</b> .....	41
3.6.6.1	Índice de vegetação da diferença normalizada – ndvi.....	41
3.6.6.2	Índice de vegetação ajustado para o solo – savi .....	41

3.6.6.3	Índice de área foliar - iaf.....	42
3.6.7	Emissividades da Superfície .....	42
3.6.8	Temperatura da Superfície ( $T_s$ ) .....	43
3.6.9	Radiação de Onda Longa Emitida .....	43
3.6.10	Radiação de Onda Curta Incidente .....	44
3.6.11	Emissividade Atmosférica.....	44
3.6.12	Radiação De Onda Longa Incidente .....	44
3.6.13	Saldo de Radiação ( $R_n$ ).....	45
3.6.14	Fluxo De Calor No Solo ( $G$ ).....	45
3.6.15	Fluxo De Calor Sensível ( $H$ ) .....	46
3.6.16	Fluxo de Calor Latente ( $LE$ ) .....	55
3.6.17	Evapotranspiração Real Diária ( $mm \cdot dia^{-1}$ ).....	55
3.6.18	Parâmetros Estatísticos Utilizados.....	56
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
4.1	USO E OCUPAÇÃO DA TERRA .....	58
4.1.1	Reamostragem de Pixel.....	58
4.1.2	Mapa do Uso e Cobertura da Terra.....	59
4.1.3	Análise comparativa das Estimativas da Transmissividade Atmosférica ( $T_{sw}$ ), computado de forma Manual e Automatizada.....	60
4.1.4	Análise comparativa das Estimativas do Albedo de Superfície ( $\alpha_{sup}$ ), computado de forma Manual e Automatizada.....	63
4.1.5	Mapas das Estimativas Manual e Automatizada da Temperatura de Superfície .....	67
4.1.6	Mapas das Estimativas Manual e Automatizada do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI.....	71
4.1.7	Mapas das Estimativas Manual e Automatizada do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI .....	76
4.1.8	Mapas das Estimativas Manual e Automatizada do IAF .....	80
4.1.9	Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Saldo de Radiação ( $R_n$ )	85
4.1.10	Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Fluxo de Calor no Solo ( $G$ ) .....	91
4.1.11	Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Fluxo de Calor Sensível ( $H$ ) .....	96

<b>4.1.12</b>	<b>Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Fluxo de Calor Latente (LE)</b> .....	101
<b>4.1.13</b>	<b>Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Saldo de Radiação 24h (Rn- 24h)</b> .....	105
<b>4.1.14</b>	<b>Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas da Evapotranspiração Real (ETr – mm dia<sup>-1</sup>)</b> .....	109
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	114
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	115

## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos voltados aos recursos hídricos, são cada vez mais necessários, por haver uma necessidade de uma determinada preparação para as mudanças climáticas no planeta. As mudanças climáticas afetam diretamente o balanço hídrico de todo o mundo. De acordo com Lee e Seongjoon (2016), aplicação do Sensoriamento Remoto para estudos voltados a aferição do balanço hídrico, é de inestimável valia, pois auxiliarão nas precauções pertinentes as mudanças climáticas. Para tanto, os autores salientaram, a importância dos estudos voltados a evapotranspiração real – ETr, pois a onde, representa cerca de 40% de toda a água existente na Coréia do Sul. Destacando-se, que com a concretização das mudanças climáticas, torna-se maior quantidade de água na atmosfera, devido a maior evapotranspiração, e consequentemente, maior a quantidade de chuvas torrenciais, acarretando inúmeros malefícios.

Um dos grandes causadores das mudanças climáticas, está no crescimento populacional sem o devido planejamento, pois levam danos onerosos à superfície terrestre. Gartland (2008) e Gomes *et al.* (2017), identificaram que, o crescimento urbano origina mudanças na superfície Terrestre, como a remoção de áreas verdes, tendo-se como exemplo, a vegetação natural, para dar lugar aos materiais de alvenaria, como casas, grandes edifícios e, pavimentação de estradas, elevando então, o nível de retenção de calor através dos materiais de concreto e asfalto, que são fontes de retenção da energia solar, levando então a uma temperatura mais elevada.

A cobertura vegetal é assinalada como um dos elementos da natureza, que mais disponibiliza água para a atmosfera (LEE e SEONGJOON, 2016). A mesma ao ser removida, influencia em outros elementos, como na captação d'água, na redução do abastecimento dos aquíferos, redução na precipitação, aumento da temperatura local e, consequentemente elevando a evaporação dos solos e diminuindo a disponibilidade hídrica na superfície (LIMA *et al.* 2017). Para Querino *et al.* (2006), as florestas possuem uma função de grande relevância, pois o bioma funciona como um agente regulador do clima, onde a vegetação age como um elemento receptor e armazenador da Energia Solar que chega à superfície, evitando que a energia eletromagnética se perca.

A substituição da vegetação nativa pode agravar as mudanças climática do orbe terrestre, em consonância com Silva, Silva, e Gomes (2010), devido a substituição de áreas nativas de florestas para o desenvolvimento da agricultura, há uma potencialização das mudanças climáticas no planeta Terra.

Para que a natureza não seja demasiadamente afetada pelas transformações geradas pela população humana, exige-se um planejamento minucioso do espaço, com plano diretor eficiente e que sejam aplicados de forma eficaz. Com o crescimento da população, estima-se que haverá uma maior demanda de água potável, alimento e de energia, havendo então necessidade de mais espaço para moradias, agricultura, pecuária, instalação de indústrias entre outros, tendo-se então uma maior pressão aos recursos da natureza, destacando-se a vegetação e a água como elementos mais afetados (DIAS *et al.* 2014; SILVA *et al.* 2016; GIATTI *et al.* 2016; RIBEIRO LATINI e PEDLOWSKI, 2016).

Destarte, pode-se aludir que a Caatinga representa um dos maiores biomas inseridos no Brasil, com uma extensão territorial de aproximadamente 844.453,00 Km<sup>2</sup> do território brasileiro, representando um total de aproximadamente de 10% do território nacional. Apesar do seu grande potencial, pouco se conhece das suas potencialidades, e há exíguas pesquisas de perspectiva internacional voltado para este bioma brasileiro (SANTOS *et al.*, 2011).

A Caatinga, apresenta um potencial inestimável para o armazenamento e fixação do gás carbônico-(CO<sup>2</sup>) da atmosfera para a cobertura vegetal, processo natural denominado sequestro de carbono, é demonstrado por (SILVA *et al.* 2013; MORAIS *et al.* 2017). Para os autores, há uma grande importância da preservação do bioma, pois quanto mais gás carbônico for captado, conseqüentemente menos Gás de Efeito Estufa - GEE estará presente na atmosfera do orbe terrestre, minimizando os efeitos onerosos na camada de ozônio.

Como atributo do bioma Caatinga, tem-se o clima semiárido, instalado no nordeste do Brasil, onde suas características podem ser listadas como; a escassez de precipitação e déficit hídrico, portanto sendo uma região árida, contudo o mais preocupante, não é o semiárido e sua escassez de recursos hídricos, pois é uma característica inerente a Caatinga. Para os pesquisadores e estudiosos, o mais inquietante e preocupante é com as ações humanas, que alteram o bioma, que por vezes é uma área susceptível a desertificação, e ao chegar em determinado nível de degradação, a caatinga apresenta uma grande chance de não recuperar-se (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017).

Nessa perspectiva, é cada vez mais necessários estudos voltados ao semiárido brasileiro, que possam mitigar as ações antrópicas e as investidas das mudanças climáticas, que vem acarretando severa instabilidade no bioma que contempla grande parte do Nordeste Brasileiro – NEB, podendo impactar de maneira severa a economia e, conseqüentemente as vidas da população local.

A água é um recurso natural limitado, dotado de valor social e econômico e altamente vulnerável às ações antrópicas, para tanto, é necessário que haja o planejamento e o uso racional deste recurso, almejando a não escassez e a potabilidade deste bem, para gerações futuras (ANA, 2002; GOMES, 2015). A água é assinalada por diversos estudos como um dos recursos naturais que mais sofrem às ações antrópicas, portanto requer uma atenção especial, pois se trata de um elemento finito, tendo-se então um grande desafio para o futuro da humanidade, sobretudo em locais áridos e semiáridos, como o NEB.

De forma sinóptica, pode-se descrever o ciclo hidrológico em sete etapas, como: evaporação; transpiração; condensação; precipitação; interceptação; infiltração; e escoamento (MACHADO; TORRES, 2012).

Deveras, pode-se identificar tais processos do ciclo hidrológico em bacias hidrográficas, onde o sistema fluvial procura o equilíbrio de energia e matéria (GOMES, 2015). De acordo com Oliveira *et al.* (2014), as pesquisas relacionadas às bacias hidrográficas são de inestimável relevância social e ambiental, e a ausência de monitoramentos podem ocasionar em um comprometimento da sustentabilidade e conseqüentemente o equilíbrio do sistema hidrográfico da bacia. Para que haja a eficácia da gestão dos recursos hídricos, é necessário uma melhor compreensão e monitoramento dos principais componentes do ciclo hidrológico, destacando então a evapotranspiração, que consiste na soma dos fenômenos de; evaporação da superfície da água e de solo exposto, e transpiração de plantas de qualquer ser vivo que contenha umidade (LONG e SINGH, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014; NOURI *et al.*, 2015; LEE e SEONGJOON, 2016; PROFETA, 2017; PROFETA *et al.*, 2018).

Há diversas formas de realizar a quantificação da Evapotranspiração Real – ETr de determinada área. Tais técnicas são tidas como eficazes e, que resultam em dados satisfatórios, pode-se listar alguns deles, como; o lisímetro de pesagem, que corresponde a uma atividade diretamente em campo, com tanques de evaporação, dando respostas diretas de quanto foi evaporado em área específica. Há outros métodos, como a razão de Bowen, que também traz um resultado satisfatório e preciso. No entanto, tais metodologias citadas anteriormente, tornam-se limitadas, quando há uma necessidade de especializar os resultados obtidos, pois, tais metodologias foram fomentadas para dar respostas pontuais da evapotranspiração (PROFETA *et al.* 2018).

Para solucionar o entrave da limitação a respeito da espacialização da ETr, e diminuir custos, foram desenvolvidas técnicas que se utilizam de algoritmos complexos aplicados a

imagens orbitais. Pode-se citar a finalidade dos algoritmos, que é a realização do Balanço de Energia – BE, tendo então como um dos resultados, dados especializados de Evapotranspiração Real – ETr e outros elementos que compõe o BE.

São inúmeros os algoritmos que realizam o Balanço de Energia, podendo-se citar alguns deles, que são; *Two – Source Energy Balance* – T-SEB (NORMAN; KUSTAS; HUMES, 1995); *Simplified Surface Energy Balance Index* - S-SEBI (ROERINK; SU e MENENTI, 2000); *Surface Energy Balance System* – SEBS (SU, 2002); *Mapping Evapotranspiration at high Resolution with Internalized Calibration* – METRIC (ALLEN; TASUMI e TREZZA, 2007); *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* – SAFER (TEIXEIRA, 2010); e um dos mais utilizados e, aplicado nesta pesquisa, o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* – SEBAL (BASTIAANSEN, 1995). Nesta perspectiva, há algoritmos como o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* – SEBAL, que estima o BE, de forma rápida, com baixo custo e com bons resultados nas suas estimativas, no entanto, a obtenção do Balanço de Energia utilizando o SEBAL, ainda é delongada, podendo chegar a inúmeras horas de trabalho para todo o seu cômputo, sobretudo nas equações após o Saldo de Radiação –  $R_n$ , como o Fluxo de Calor Sensível –  $H$ , que corresponde a um processo de iteração demorado e, requer muita cautela por parte do analista. Nessa perspectiva, apresenta-se como hipótese da pesquisa, que seja possível desenvolver um método, que realize as equações do SEBAL, de forma automatizada, utilizando a linguagem de programação Python, e aplicada a um software livre, o GRASS GIS, utilizando então reduzidos dados de entrada, e finalizando todo o processo em poucos minutos, resultando em uma resposta significativa do algoritmo. Pesquisa semelhante pode ser vistas em Silva *et al.* (2019), que realizam o cômputo da ETr, na linguagem de programação MATLAB, chamando o algoritmo automatizado de (ASEBAL).

## **1.1 Objetivos**

Logo abaixo é possível identificar os objetivos de forma detalhada.

### **1.1.1 Objetivo geral**

- Analisar a influência do uso e cobertura da terra sobre as estimativas do Balanço de Energia (BE) e da evapotranspiração real na bacia hidrográfica do Riacho das Garças-PE.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Estimar o balanço de energia e evapotranspiração real (ETr) da bacia hidrográfica do Riacho das Garças-PE, por meio do SEBAL realizado de forma manual utilizando o ERDAS IMAGINE - 2014, e automaticamente utilizando o GRASS GIS com código escrito em Python;
- Avaliar a precisão da estimativa dos componentes do balanço de energia e evapotranspiração real (ETr) obtidas de forma automatizada no Python/GRASS GIS, com base nas estimativas realizadas manualmente no (ERDAS IMAGINE - 2014);
- Analisar a variabilidade espacial dos componentes do Balanço de Energia e da Evapotranspiração real na bacia em estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Bacia Hidrográfica e Recursos Hídricos

A bacia hidrográfica é compreendida como uma unidade territorial, unidade essa que está passível as vicissitudes provocadas pelo homem e depreciação pelo próprio meio físico, onde a mesma está inserida. É considerada, por diversos pesquisadores como uma unidade territorial ideal para os estudiosos que propõem elucidar determinados aspectos, como os processos erosivos; diminuição na captação de água; aumento da temperatura; diminuição no sequestro de carbono como em biomas de caatinga; gestão dos recursos hídricos; assim como para estudos voltados ao balanço de energia (OLIVEIRA, 2012).

Em uma perspectiva política, a bacia hidrográfica é uma unidade territorial onde é possível aplicar e implementar à Política Nacional de Recursos Hídricos atuando no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Para tanto há os comitês de bacias, que promovem debates, planejamentos e propõem prevenções e possíveis soluções para possíveis danos causados nas bacias hidrográficas.

Botelho e Silva (2014), afirmaram que há um despertar nos últimos anos no tocante aos recursos hídricos. Os autores identificam à conscientização e preocupação, tanto da sociedade, como dos dirigentes da nação brasileira, em volta da bacia. Os mesmos, versam sobre uma preocupação com a unidade hidrográfica que veio sendo alvo de pesquisas desde 1990 no país, a partir daí desenvolveu-se leis, planejamentos e boas perspectivas para um manejo e gestão adequado dos recursos hídricos e naturais nas bacias hidrográficas.

Estudos entorno do Reino da Arábia Saudita, voltada para os recursos hídricos, apontaram, sobretudo, a escassez cada vez maior da água em área urbana e rurais, além do crescimento da irrigação e portanto a diminuição da disponibilidade de água no país (MAHMOUD; ALAZBA, 2016a, 2016b).

Segundo Teixeira *et al.* (2008) é relevante que os estudos apontem a relação entre a irrigação, evapotranspiração, produção e percolação da água precipitada nas bacias, a literatura, ainda é tenra, no tocante às pesquisas voltadas para o consumo de água nas lavouras.

Conforme Teixeira, Bastiaanssen e Basso (2007), a bacia hidrográfica do São Francisco possui grandes áreas de agricultura irrigada, representando uma grande demanda hídrica da bacia hidrográfica. Para os autores, a evapotranspiração chega à aproximadamente 1.600

mm/ano, enquanto a precipitação anual chega apenas à 570 mm. A demanda hídrica atmosférica é superior à precipitação, neste viés faz-se necessário estudo voltados para a demanda hídrica das culturas, para evitar o desperdício hídrico, e evitar a escassez de água na bacia.

Destarte, podemos apontar essa unidade hidrográfica como uma unidade de análise, onde, podemos planejar a melhor forma de gerir os recursos naturais contidos na mesma. Dessa maneira, a bacia vem se tornando uma unidade em excelência para aplicações científicas que versam compreender à dinâmica hídrica, vegetal, a susceptibilidade ou não da bacia, seus recursos naturais, aspecto físico, aspectos biofísicos como apontam os pesquisadores Oliveira *et al.* (2012).

De acordo com os autores Oliveira *et al.* (2014), há uma real necessidade da observação dos recursos hídricos, tais observações favorecem o manejo e a gestão dos recursos naturais da bacia. A ausência do monitoramento pode comprometer todo o sistema hidrográfico da bacia, ocasionando processos onerosos e irreversíveis para a bacia e a população que ali está inserida.

Machado e Torres (2012) afirmaram, que com o passar dos anos, houve uma maior importância alcançada pelos recursos hídricos e pela bacia hidrográfica na sociedade contemporânea. Os autores referem-se, às frequentes preocupações dos estudiosos com a unidade de análise, vista com o objetivo de pesquisa. Preocupações estas que realçaram à bacia como uma unidade territorial preferida entre várias áreas do campo acadêmico, pois a mesma abrange tanto o planejamento ambiental como o planejamento territorial.

Gomes (2011) definiu e caracterizou a bacia hidrográfica versando sobre os recursos naturais, definindo a unidade como uma área ideal, onde podemos analisar as vicissitudes dos recursos naturais da superfície terrestre apontada, ainda pelo o mesmo autor, à bacia pode ser também configurada como um sistema, sistema esse que versa características físicas e naturais homogêneas, por se tratar de interações.

Guerra e Guerra (1997) atribuíram a bacia hidrográfica como, uma porção de terras que convergem para um curso central e de maiores proporções, sendo este o curso principal, que por sua vez declina até seu exutório.

Silveira (2014) descreveu os aspectos físicos de uma bacia hidrográfica. Para o autor a bacia hidrográfica é uma área, onde há captação natural, captação esta que convergem para um único ponto, denominado de exutório, ponto em comum dos encontros das águas que foram

precipitadas em uma bacia. Ainda para o mesmo autor a bacia é composta basicamente por um conjunto de vertentes, vertentes essas que conduzem às águas para um único curso principal, drenando então todos os tributários que compõe a bacia, finalizando o seu percurso em uma foz.

Guerra (1972) nos deixa pensar que a ideia de bacia hidrográfica é inerente aos divisores de água, curso de água principal, afluentes, subafluentes, não deixando de citar o que dá origem a um rio, as nascentes ou cabeceiras. Para o autor é impossível imaginar uma bacia hidrográfica sem esses conceitos físico.

A bacia hidrográfica é definida de formas distintas, diversos autores que são considerados autoridades no quesito bacia hidrográfica, como o Chistofolletti, que define a bacia hidrográfica como sendo, “toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal” (CHISTOFOLETTI, 1980, p. 113).

Para os autores Machado e Torres (2012) a definição de bacia hidrográfica entra em uma perspectiva de singularidade, por apresentar um campo vasto para os pesquisadores que estão à analisa-las, os autores afirmam que a bacia pode determinar o gerenciamento, planejamentos, análises diversas, para que haja uma intervenção em benefício da mesma, não deixando de citar o banco de dados que é fruto das pesquisas elencadas segundo os supracitados autores.

Entendendo a bacia hidrográfica numa perspectiva sistêmica, os autores Collischonn e Tassi (2011), definem a bacia hidrográfica como um sistema físico, onde há entrada e saída d’água, onde a entrada ocorre na precipitação, já a saída é realizada a partir da evaporação e o escoamento superficial.

Em uma perspectiva ambiental, a bacia hidrográfica é definida como uma “unidade celular básica de análises” (BOTELHO; SILVA, 2014, p. 153). Os mesmos autores ainda salientaram as possibilidades de analisar os diversos processos e interações que estão contidos dentro da mesma. E afirmam que a preocupação com a “unidade celular”, a bacia, vem sendo alvo de preocupações, tanto das prefeituras, governos estaduais, e até mesmo o governo federal. A água é um recurso natural finito, logo, há riscos haver seu total desaparecimento, nesta perspectiva as unidades governamentais vêm desenvolvendo estratégias e planejamentos, no que diz respeito a bacias hidrográfica.

A bacia hidrográfica é definida por Garcez e Alvarez (1988) como uma área topograficamente fechada. Os mesmos autores ainda complementam que a área da bacia é definida por um conjunto de área em declividade, formando assim um curso d'água principal que será descarregado em um determinado ponto da declividade.

A definição de bacia hidrográfica ou de drenagem “é a área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários” (NOVO, 2008, p. 220). A autora ainda salienta, que a bacia, representa uma área de captação natural d'água, que converge o seu escoamento para um único ponto de saída, este denominado de exutório, sendo realizada a sua delimitação, a partir deste ponto e dos divisores de água.

## 2.2 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto é considerado como uma das ferramentas mais completas, ao que se refere na extração, compreensão e análise dos recursos da natureza. Esta ferramenta é poderosa e robusta, permitindo uma visualização sintética do planeta Terra, deste modo alcançando locais de difícil acesso entre outros.

Para Novo (2010), a história do Sensoriamento Remoto é dividida em duas épocas, de 1860 a 1960, em que eram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto por fotografias aéreas; e de 1960 até os dias atuais, caracterizado por uma gama de sensores orbitais e de múltipla resolução espacial, que possibilita uma série de análises dos recursos naturais, e outras formas de aplicações em inúmeros perspectivas da ciência.

Após a observação feita acima, podemos então definir o que é o Sensoriamento Remoto. De uma forma geral, é a captura de dados e/ou informações sem o contato físico, ou seja, não é preciso a presença física do pesquisador para obter e captar as informações contidas em determinado espaço em análise, agilizando e aumentando a escala de análise.

“Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (MENESES, 2012, p. 3).

Novo (2010) afirmou que o sensoriamento remoto, é a utilização conjunta de dados, equipamento que processam esses dados e equipamentos que transmitem os dados captados, tudo isso posto a bordo de aeronaves, espaçonaves, sistemas de sensores postos em órbita da Terra ou outros tipos de plataformas. A autora salientou, que a captura de informações pelos

sensores remotos, é possível apenas por conta da radiação eletromagnética, e as substâncias contidas nos objetos tidos como alvos e/ou elemento em estudos.

Desta forma a utilização do sensoriamento remoto, pode ser considerado uma técnica ímpar, que auxiliam-nos nas observações de fenômenos naturais e/ou antrópicos, dando-nos um enorme suporte, para tomada de decisão em tempo real, e elevando a escala de pequenas áreas para áreas regionais.

Rosa (2009) compreendeu o sensoriamento remoto como, a forma de obter informações sem que haja o contato físico com o alvo em questão. O mesmo salienta sobre o funcionamento do sensor remoto, informando que o sistema para obter as informações é realizado pela radiação eletromagnética, gerada então, pelo Sol e/ou pela Terra, ou por sensores que emitem ondas eletromagnéticas, como o radar.

Há dois tipos de fontes de radiação para capturar informações através dos sensores remotos, o passivo, esse precisa da radiação eletromagnética do Sol, para que possa capturar informações com a reflexão da (REM). E o ativo, este interage com a Terra, emitindo ondas eletromagnéticas, e capturando as ondas refletidas pelo objeto em observação, um exemplo, é o radar (MOREIRA, 2011).

Ferreira (2006) afirmou que o Sensoriamento Remoto é uma tecnologia, onde podemos caracterizar objetos sem a necessidade de estabelecer um contato com o mesmo. O mesmo autor ainda salienta que, esta ferramenta tecnológica, permite a mensuração dos objetos a distância, possibilitando estudar áreas sem a necessidade de estar em campo.

A tecnologia do sensoriamento remoto, é implementada a bordo de satélites, permitindo o registro da energia refletida e/ou emitida pelo planeta Terra. Cada objeto possui uma substância eletromagnética ímpar (**assinatura espectral**), permitindo a identificação de objetos através de informações contidas a partir da energia eletromagnética (REM), (FERREIRA, 2006).

Florenzano (2008) corrobora com que os outros autores já afirmaram acima. Para a autora o sensoriamento remoto, é definido como uma tecnologia de aquisição de informação da superfície terrestre à distância, podendo então estes equipamentos estão presentes em plataformas terrestres, ou orbitais, como é o caso dos satélites.

Para Jensen (2011) o sensoriamento remoto é uma ciência e arte. Ciência no que concerne aos registros de informações captadas através do espectro eletromagnético das regiões do visível, ultravioleta, infravermelho e as micro-ondas do espectro, através de instrumentos como, laser, escâneres, câmeras, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas, como os satélites e as aeronaves. E arte, quando é levado em consideração o intérprete e as habilidades de interpretação, interpretando as imagens do sensor remoto e obtendo informações de forma científica.

Já Lorenzetti (2015) é bem restrito, ao que diz respeito ao sensoriamento remoto. O autor refere-se ao sensoriamento remoto como sendo à coleta de dados por satélites orbitais (SR orbital), estes são sensores instalados em plataformas a bordo dos satélites, que orbitam à Terra. O autor acrescenta que o SR orbital nos possibilita a coleta de dados de grandes áreas, e que a disponibilidade de imagens de diferentes datas é disponibilizada por um custo muito baixa.

### 2.3 Estimativa da Evapotranspiração por Sensoriamento Remoto

É a perda de água da superfície terrestre por meio da evaporação da água do solo, e a perda da água da cobertura vegetal, por meio da transpiração das plantas. Este processo é conhecido como processo evapotranspirativo, que ocorre entre a atmosfera, planta e solo (OLIVEIRA, 2012a).

Com o crescimento populacional, crescem também as necessidades e pressão sobre os recursos hídricos (TEIXEIRA, 2010). E para que haja um melhor manejo desses recursos, são necessários estudos que determinem a evapotranspiração (ET), que por vezes podem ser obtidas através de métodos como a razão de Bowen, técnicas de covariância de vórtice turbulentos e cintilômetros. No entanto, todos esses métodos citados acima, conferem-se como técnicas dispendiosas, e suas extrapolações para demais áreas faz com que as técnicas tornem-se imprecisas e inviáveis, tendo-se que os métodos não contemplam grandes áreas (TEIXEIRA, 2010).

Para solucionar este entrave, da estimativa da ET para grandes áreas com baixa porcentagem de erro, foram desenvolvidos um grande número de algoritmos que realiza a estimativa do balanço de energia (BE) e com os dados residuais do BE, é possível obter os dados de evapotranspiração real de determinada região.

Os algoritmos mais conhecidos do balanço de energia são obtidos obtido através de imagens de satélite, um desses algoritmos é o Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL, desenvolvido por Bastiaanssen (1995). “ O SEBAL é um algoritmo para determinação dos mapas de evapotranspiração para grandes áreas” MENEZES *et al.* (2009). De acordo com o mesmo autor, o SEBAL é obtido através de rotinas computacionais, que realiza o balanço de radiação e energia para determinada área da superfície da Terra.

De acordo com Bastiaanssen (2000) a evapotranspiração é um dos componentes que compõe um sistema, denominado de ciclo hidrológico. A evapotranspiração compõe também o balanço hídrico de grandes áreas de culturas que são irrigadas por sistemas robustos que disponibilizam grandes quantidades de água, nesta perspectiva a irrigação também deixa os solos úmidos, que pode representar um desperdício. De acordo com o autor supracitado, o maior consumidor dos recursos hídricos é representado pela agricultura irrigada, que por meio do uso consuntivo diminuem a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas e consequentemente a lâmina d’água das bacias, essas ações podem ocasionar em processos onerosos aos sistemas hídricos.

Senay *et al.* (2016) salientaram que, as técnicas computacionais que são aplicadas através dos algoritmos de balanço de radiação e energia, visam como elemento principal a otimização na gestão dos recursos hídricos que tem como prioridade suprir as necessidades humanas e ecológicas. Para os autores, para haver uma melhor gestão dos recursos hídricos é necessário que haja o conhecimento sobre as demandas, juntamente com os reservatórios de água, como os poços, córregos e a demanda hídrica, como a irrigação, geração de energia elétrica e o consumo hídrico doméstico e/ou urbano.

Segundo Owaneh e Suleiman (2018) a estimativa precisa da evapotranspiração torna-se de grande valia para o planejamento e gestão, tanto de bacia hidrográficas dos recursos naturais que contemplam as bacias hidrográficas, sobretudo os recursos hídricos. Os mesmos autores, corroboram com outros autores, e mencionam que outros métodos para a obtenção da evapotranspiração em terra, não podem ser aplicadas em grandes áreas, pois a evapotranspiração é controlada pela densidade da cobertura vegetal, umidade do solo e temperatura da superfície, esses elementos variam na escala espacial.

De acordo com Uda, Corseuil, e Kobiyama (2013), o balanço de energia-BE, obtido com o SEBAL, pode ser aplicado em diferentes sistemas, sistemas homogêneos como a

agricultura, e sistemas heterogêneos como bacias hidrográficas. Os mesmos autores, afirmam que uma gama de pesquisadores que utilizam o geoprocessamento e o sensoriamento como ferramenta para o monitoramento da superfície terrestre, utilizam o algoritmo SABAL devido a potencialidade do algoritmo que permite a estimativa da evapotranspiração distribuída de forma espacial.

De acordo com Folhes (2007) e Lima *et al.* (2014a), o algoritmo SEBAL utiliza dados residuais do balanço de energia, para a obtenção da evapotranspiração, utilizando-se de dados espectrais e multiespectrais, obtidos através do sensoriamento remoto orbital, e dados de estações meteorológicas, que servem como dados de entrada; como a velocidade do vento e temperatura do ar.

Teixeira *et al.* (2009b) apontaram que o SEBAL, foi fomentado para possuir poucas entradas para a obtenção das etapas do balanço de energia alcançado através do algoritmo. Para o autor, há sempre a possibilidade de estar realizando o burilamento das estimativas e do algoritmo, com a evolução, evoluem também as estimativas e as equações, possibilitando estimativas mais precisas, resultando em erros cada vez menores, confirmando-se estimativas próximo da realidade observada.

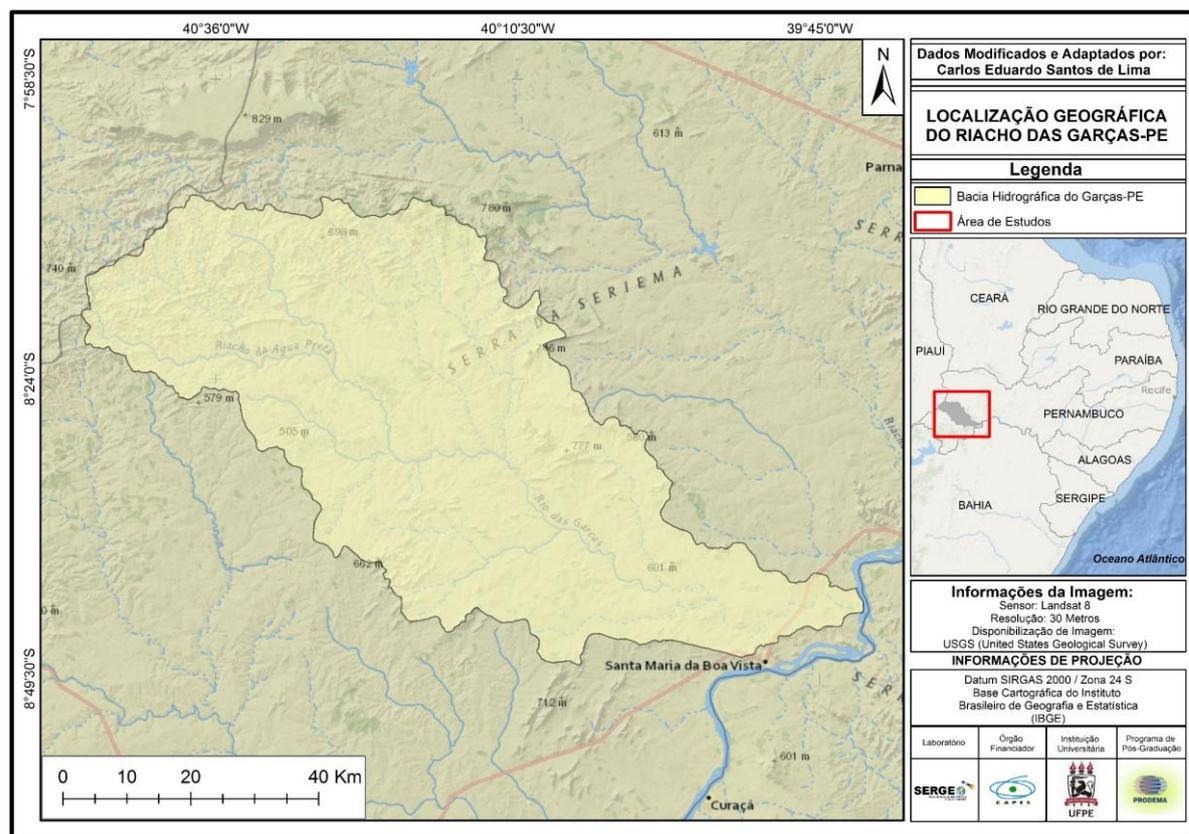
Teixeira *et al.* (2009a) salientaram que o conjunto de equações compiladas pelo SEBAL, vem sendo de grande relevância, sobretudo para demonstrar os efeitos que vem ocorrendo na bacia hidrográfica do rio São Francisco, que vê sua vegetação natural, sendo substituída por áreas de cultura irrigada. Os autores apontam que esses estudos são de suma importância, e que os resultados podem auxiliar tanto ao governo federal quanto ao governo municipal, para que os mesmos possam ser conclusivos à tomada de decisão a respeito dos recursos hídricos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A área de pesquisa em análise, encontra-se na região do semiárido brasileiro, mais precisamente à oeste do estado de Pernambuco. A bacia hidrográfica do riacho das Garças possui uma área total de aproximadamente 4.094,10 km<sup>2</sup>, correspondendo cerca de 4,46% do território do estado de Pernambuco. A bacia abrange sete municípios do estado pernambucano (Figura 1 e Tabela 1), limita-se ao norte com a bacia hidrográfica do Brígida-PE; ao oeste é com a bacia hidrográfica do Canindé-PI; ao leste com a bacia hidrográfica de pequeno porte, a GI6 e o rio São Francisco; e ao sul faz limite com a bacia hidrográfica do Pontal-PE e a GI7 (APAC, 2013).

Figura 1 – Localização geográfica da bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE



Fonte: Autor (2018).

Tabela 1 - Municípios banhados pela bacia hidrográfica do riacho das Garças - PE

<b>Municípios</b>	<b>Área Total (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Banhada (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Banhada (%)</b>
Dormentes - PE	1.543,08 Km <sup>2</sup>	496.7 Km <sup>2</sup>	12,13%
Lagoa Grande - PE	1.806,44 Km <sup>2</sup>	845.66 Km <sup>2</sup>	20,65%
Ouricuri - PE	2.440,86 Km <sup>2</sup>	10.87 Km <sup>2</sup>	0,28
Parnamirim - PE	2.595,54 Km <sup>2</sup>	2.34 Km <sup>2</sup>	0,06%
Santa Cruz - PE	1.246,05 Km <sup>2</sup>	997.27 Km <sup>2</sup>	24,35%
Santa Filomena - PE	993.5 Km <sup>2</sup>	734.86 Km <sup>2</sup>	17,95%
Santa Maria da Boa Vista - PE	2.933,93 Km <sup>2</sup>	1.006,3 Km <sup>2</sup>	24,58%
<b>Total da Área</b>	<b>13.559,4 Km<sup>2</sup></b>	<b>4.094,00 Km<sup>2</sup></b>	<b>100 %</b>

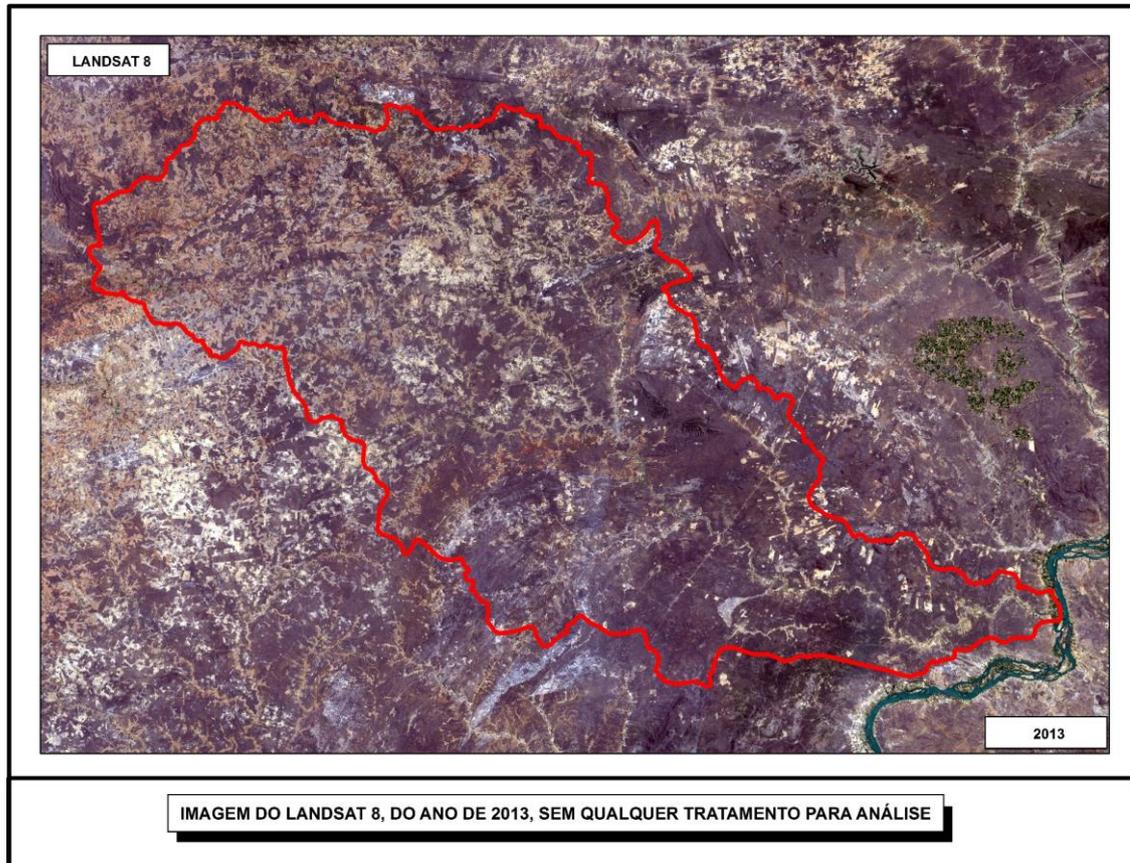
Fonte: Elaborado pelo autor.

O clima da região onde a bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE está inserida é compreendido como semiárido BSwh', conforme a classificação climática de Köppen. Onde o clima é o semiárido quente, com chuvas na estação do verão, e o período seco faz-se presente na estação de inverno. Tem-se, portanto um clima semiárido, com precipitações que variam de 380 a 760 mm em uma média anual, correspondendo à uma área seca e quente (SÁ *et al.* 2016).

### 3.2 Dados Radiométricos

Foram utilizados dados orbitais do objeto de estudo. As imagens foram adquiridas gratuitamente, através do United States Geological Survey (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov>). O sensor remoto utilizado, foi o LANDSAT 8 - OLI/TIRS à imagem utilizada, tem como referências a órbita 217 e o ponto 66, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Imagem Orbital da bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE



Fonte: USGS (2018).

### 3.2.1 Características Físicas da Imagem Orbital do Landsat 8 OLI/TIRS

Na figura acima, refere-se ao ano de 2013, sendo utilizado o Sensor LANDSAT 8 OLI/TIRS, que possui 11 bandas espectrais, com resolução espacial máxima de 15m, e uma menor resolução em torno de 100 m. A banda 8 refere-se a banda pancromática, que possui resolução espacial de 15 m. Com 100 metros de resolução espacial pode-se identificar as bandas 10 e 11. Já as demais bandas possuem uma resolução espacial de 30m. As características do sensor OLI e TIRS/LANDSAT 8 podem ser observadas na Tabela 2, Resolução Radiométrica de 16 (bits) o que corresponde a 65.536 níveis de cinza, esses valores variam de 0 a 65.535 tonalidades do cinza, resultando em maiores informações armazenadas e disponibilizadas. Esse sensor realiza o imageamento que possui um tamanho de norte a sul, de 170 km, enquanto de leste a oeste a imagem representa uma área de 183 km. É relevante destacar as revisitas do sensor, que é representado pela resolução temporal, com 16 dias, visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 - Referência de resolução do sensor LANDSAT 8 OLI e TIRS

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Resolução Espectral</b>	<b>Resolução Espacial</b>	<b>Resolução Temporal</b>	<b>Área Imageada</b>	<b>Resolução Radiométrica</b>
(B1) Ultra-Blue	0.43 – 0.45 $\mu\text{m}$	30 m	16 dias	Norte / Sul 170 km  Leste / Oeste 183 km	16 bits
(B2) Blue	0.45 – 0.51 $\mu\text{m}$				
(B3) Green	0.53 – 0.59 $\mu\text{m}$				
(B4) Red	0.64 – 0.67 $\mu\text{m}$				
(B5) Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88 $\mu\text{m}$				
(B6) SWIR 1	1.57 – 1.65 $\mu\text{m}$				
(B7) SWIR 2	2.11 – 2.29 $\mu\text{m}$				
(B8) Panchromatic	0.50 – 0.68 $\mu\text{m}$	15 m			
(B9) Cirrus	1.36 – 1.38 $\mu\text{m}$	30 m			
(B10) Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19 $\mu\text{m}$	100 m			
(B11) Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51 $\mu\text{m}$	100 m			

Fonte: Adaptado USGS (2018)

### 3.3 Dados cartográficos

Dados cartográficos utilizados na pesquisa.

#### 3.3.1 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Os dados vetoriais (*Shapefile*), que possuem os municípios inseridos na bacia hidrográfica em questão, foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/arquivos/downloads>).

#### 3.3.2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

No site do INPE (<http://www.inpe.br>) foi adquirido as Grades Cartográficas das Imagens do Sensor Landsat 8, o que possibilitou a identificação do local exato das imagens, sua real posição, em relação à órbita e ponto da imagem.

#### 3.3.3 United States Geological Survey

Foi no site da USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) que foram obtidas todas as imagens processadas nesta pesquisa, onde todas as imagens do nível 1, são disponibilizadas com as correções geométricas já realizadas, onde a United States Geological Survey – USGS, realizam um processo sofisticado, denominado de ortorretificação de imagem.

#### 3.3.4 Dados altimétricos

Os dados altimétricos foram adquiridos através do INPE (<http://www.dsr.inpe.br/topodata>). As imagens originais da “Shuttle Radar Topography Mission - SRTM”, são disponibilizadas com uma resolução espacial de 90 m para o INPE. O mesmo, realiza uma reamostragem dos pixels das imagens altimétricas obtidas pelo SRTM, aumentando para uma resolução espacial de 30 m, pelo método da **KRIGAGEM** (VALERIANO, 2002). As imagens obtidas, através da missão SRTM, registram os valores reais da elevação da superfície Terrestre, onde esses dados são plotados em cartas. As cartas altimétricas do SRTM utilizadas são referenciadas por: 07\_S\_42\_ZN.tif; 07\_S\_405\_ZN.tif; 08\_S\_42\_ZN.tif; 08\_S\_405\_ZN.tif; 09\_S\_42\_ZN.tif; 09\_S\_405\_ZN.tif.

### 3.4 Softwares

Os softwares utilizados durante a pesquisa foram, o ERDAS® 2014 e o GRASS GIS 7.4.0, onde realizou-se uma análise comparativa entre duas formas de gerar dados do algoritmo SEBAL. A geração manual, representada pelo ERDAS® 2014, e a automática, sendo representada pelo GRASS GIS 7.4.0. Já para os processamentos iniciais como a reprojeção cartográfica, e procedimento final, como a finalização das cartas e seus respectivos Layout, houve uma variação de software, como o ArcGis 10.4.1 e QGIS 3.0.3.

#### 3.4.1 ArcGis® 10.4.1

Software proprietário, da empresa norte-americana Environmental Systems Research Institute (ESRI) (<http://www.esri.com>). O programa é disponibilizado em sua versão de teste para estudantes durante um período de 60 dias, podendo ser renovado, estendendo a sua utilização. Com o ArcGis, deu-se origem a um banco de dados Geográfico, onde foram armazenados todos os dados pertinentes à pesquisa. Este software foi utilizado ainda na criação, manipulação, edição das cartas geradas no ERDAS e GRASS GIS e, a edição e criação de shapefiles do banco de dados. Também foi realizada a classificação supervisionada do uso e cobertura da terra, reamostragem dos pixels de 30 para 15 m, para melhor resultado no momento da classificação.

#### 3.4.2 QGIS® 3.0.3

Software livre, no qual foi efetuada a conversão do sistema de projeção, onde foram reprojetaadas todas as imagens de WGS 84, para o datum SIRGAS 2000, e sistemas de coordenadas planas UTM ZONA 24 sul. Realizou-se também uma parcela de toda a manipulação dos dados neste software, podendo ser adquirido no site do QGIS® Brasil ([http://qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](http://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html)).

#### 3.4.3 ERDAS® 2014

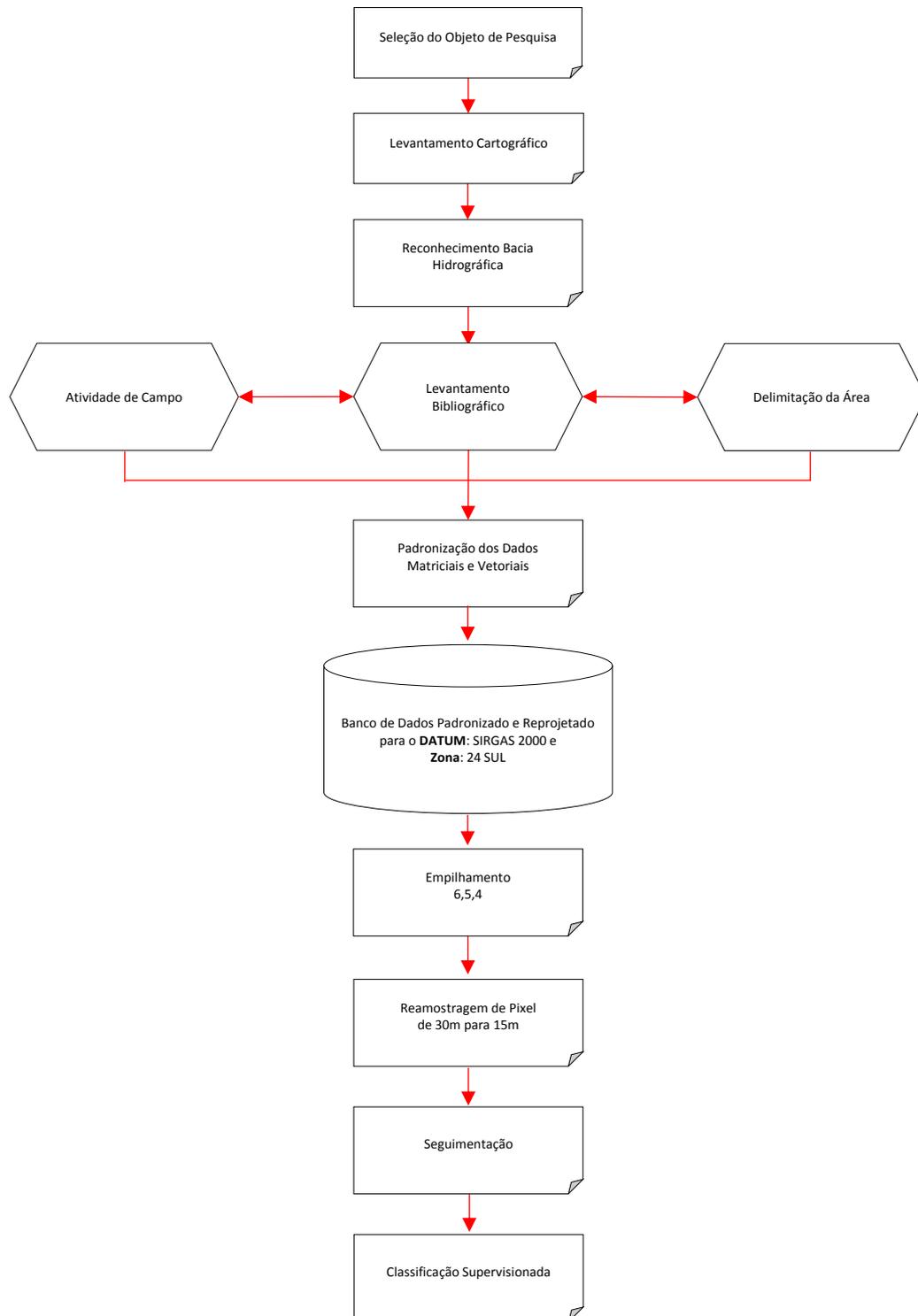
Software proprietário, de nacionalidade norte americana, disponibilizado por 30 dias pela empresa **Intergraph Corporation** (<http://www.intergraph.com>). Neste software, foi

realizado todos os cálculos enumerados na geração do SEBAL, desde a radiância à evapotranspiração real.

### 3.5 Procedimentos que antecedem o processamento do SEBAL

Foram realizadas dez etapas referentes à preparação dos dados antes da realização do balanço de energia (BE). A primeira etapa consiste na escolha do objeto de estudo; a segunda etapa concerne no levantamento cartográfico, obtendo todos os dados pertinentes a cartografia da bacia em análise; a terceira etapa refere-se no reconhecimento da bacia, onde foi possível quantificar a sua extensão e identificar a sua real posição geográfica; a quarta etapa consiste na atividade de campo, levantamento bibliográfico e a delimitação da área pesquisada; na quinta etapa foi fomentado o banco de dados; a sexta etapa refere-se à padronização do banco de dados da pesquisa, desta forma foi possível minimizar os erros cartográficos; a sétima etapa corresponde ao empilhamento das bandas, onde foram utilizadas as bandas 6,5,4; na oitava etapa foi realizada uma reamostragem do pixel de 30 para 15 m, melhorando a resolução da imagem; na nona etapa foi realizada a segmentação da imagem, correspondendo ao agrupamento dos valores do pixel, facilitando a seleção das classes; a décima etapa corresponde a classificação supervisionada, onde foram utilizadas as seguintes classes; corpos d'água, agricultura, solo exposto, caatinga e área de transição, essa última refere-se às áreas urbanas e áreas loteadas Figura 3 .

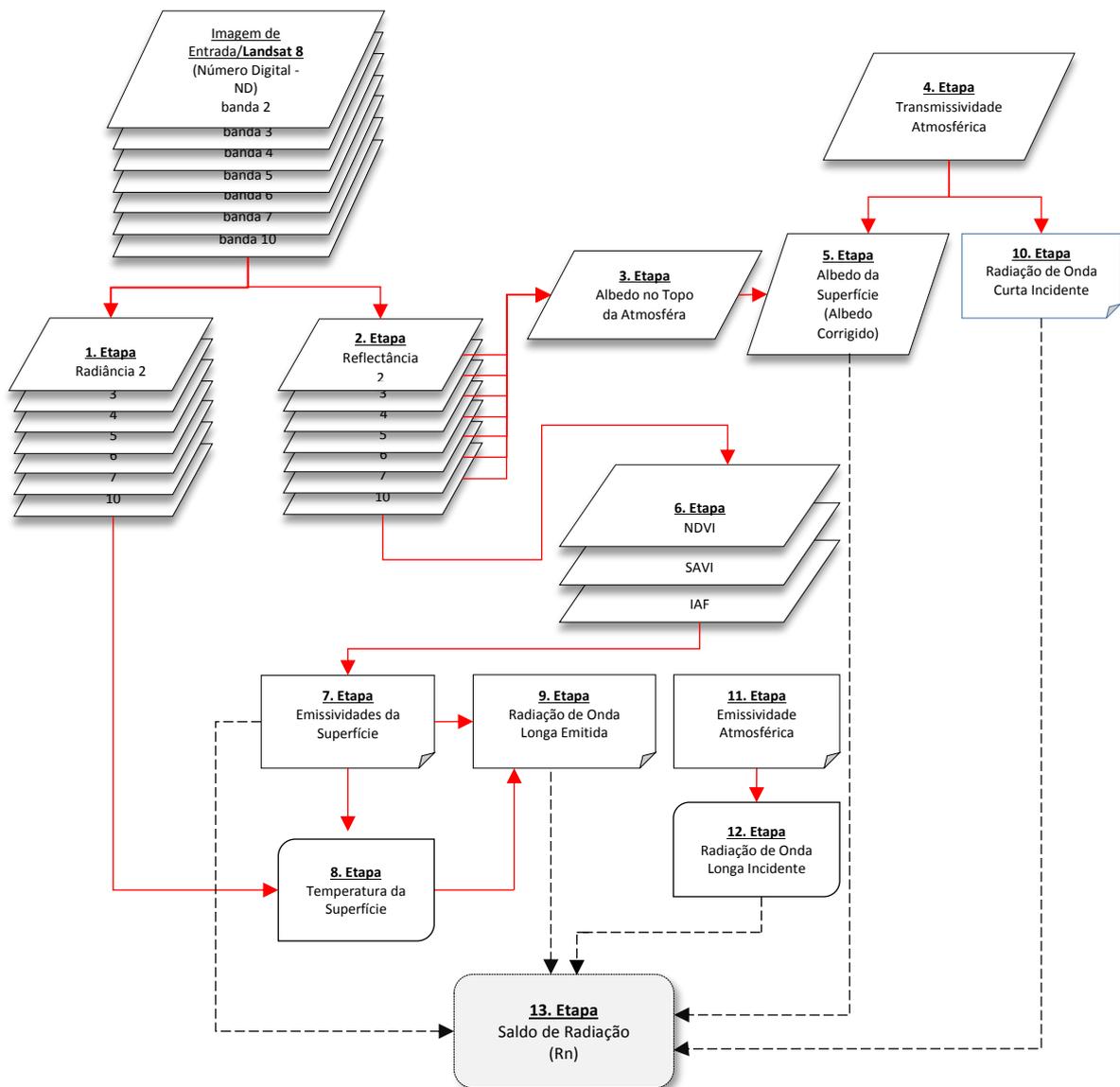
Figura 3- Fluxograma dos Processo que antecedem o SEBAL



### 3.6 Obtenção do Saldo de Radiação ( $R_n$ )

As etapas de aplicação do Algoritmo SEBAL para obtenção do saldo de radiação ( $R_n$ ) seguem o fluxograma apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do saldo de radiação à superfície



Fonte : MACHADO *et al.* 2014.

## 1° Etapa

### 3.6.1 Calibração Radiométrica

O sensor Landsat 8, capta informações terrestre por meios de pontos flutuantes “*floating-point*”, que correspondem à 32bit de informações, que são processadas antes de chegar como um produto disponível para os pesquisadores, pré-processamento realizado pela USGS, que transforma os pontos flutuantes em Números Inteiros, que são os Números Digitais (ND) que variam de 0 a 65.535 para o Landsat 8.

A etapa 1° do SEBAL corresponde ao cômputo da Radiação Espectral em cada banda ( $L_b$ ), correspondendo às transformações do ND em valores de Radiância Espectral em cada pixel da imagem processada (BEZERRA, 2006; SILVA, *et al.* (2016), conforme Equação 1 (USGS, 2016).

$$L_b = \text{Add}_{\text{rad},b} + \text{Mult}_{\text{rad},b} \text{ND}_b \quad (1)$$

Onde:

$L_b$  = Radiância Espectral ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ );  $\text{Mult}_{\text{rad},b}$  = Fator de escala multiplicativo de radiação para a banda (RADIANCE\_MULT\_BAND\_n dos metadados);  $\text{Add}_{\text{rad},b}$  = Fator de escala aditivo de radiação para a banda (RADIANCE\_ADD\_BAND\_n dos metadados); e  $\text{ND}_b$  = Valor quantificado e calibrado do pixel em nível de cinza (ND). O  $\text{ND}_b$  Mínimo = 1 e o  $\text{ND}_b$  Máximo = 65.535. Os valores indicados, correspondem aos valores mínimos e máximos de cada banda da imagem, referente aos níveis de cinza.

## 2° Etapa

### 3.6.2 Reflectância

A Reflectância sem Ajuste do Ângulo Solar, Equação 2 (USGS, 2016)

$$\rho\lambda' = M_p * Q_{cal} + A_p \quad (2)$$

Onde:

$\rho\lambda'$  = Reflectância Espectral em (TOA);  $M_p$  = Fator de Escala Multiplicativo de Reflectância para a banda (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_N dos Metadados);  $A_p$  = Fator de Escala Aditivo de Reflectância para a banda (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_N dos Metadados); e  $Q_{cal}$  = Valor quantificado e calibrado do pixel em nível de cinza (ND). O  $Q_{cal}$  Mínimo = 1 e o  $Q_{cal}$  Máximo = 65.535. Os valores indicados, correspondem aos valores mínimos e máximos de cada banda da imagem, referente ao; ND;.

### 3.6.2.1 Reflectância com Correção Para o Ângulo de Elevação Solar

Obtida pela Equação 3 conforme Chander e Markham (2003); USGS (2016); Markham *et al.* (2017):

$$r_b = \frac{\text{Add}_{\text{Ref},b} + \text{Mult}_{\text{Ref},b} \text{ND}_b}{\text{Cos } Z d_r} \quad (3)$$

Onde:

$\text{Add}_{\text{Ref}}$  = Aditivo dos termos de Reflectância de cada banda;  $\text{Mult}_{\text{Ref}}$  = Multiplicativo dos termos Reflectância de cada banda, esses valores são extraídos nos metadados de cada imagem;  $Z$  = refere-se ao ângulo solar zenital;  $\text{ND}$  = Intensidade e cada pixel nas bandas (valores que variam de 0 a 65.565);  $b$  = Índice (valor) aplicado em cada uma das seis bandas (2, 3, 4, 5, 6 e 7); e  $d_r$  = corresponde à correção da excentricidade da órbita terrestre, dada por Silva, *et al.* (2016) Equação 4, abaixo:

$$d_r = \left( \frac{1}{d_{\text{ES}}} \right)^2 \quad (4)$$

Onde:

$d_{\text{ES}}$  - distância da Terra ao Sol em (unidade astronômica) no dia de cada imagem, extraída dos metadados da imagem Landsat 8 OLI/TIRS. Esta data, refere-se ao dia da passagem do satélite Landsat 8 OLI/TIRS na área de pesquisa, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Datas das imagens com o dia juliano,  $d_r$  e o  $\cos \theta$ .

Data da Imagem	DJ	$d_r$	Cos $\theta$
03/09/2013	246	0,982	0,850

### 3° Etapa

#### 3.6.3 Albedo Planetário ou Albedo do Topo da Atmosfera ( $\alpha_{toa}$ )

O albedo planetário, também conhecido como albedo não corrigido e/ou albedo sem correção ( $\alpha_{toa}$ ), é obtido através das combinações das reflectâncias monocromáticas ( $r_b$ ), das bandas refletivas (de 2 a 7) do OLI – Landsat 8, conforme Silva *et al.* (2016), dado na Equação 5:

$$\alpha_{toa} = \rho_2 \times r_2 + \rho_3 \times r_3 + \rho_4 \times r_4 + \rho_5 \times r_5 + \rho_6 \times r_6 + \rho_7 \times r_7 \quad (5)$$

$\alpha_{toa}$  = Albedo Planetário;  $\rho_2$  = Albedo planetário da banda 2;  $\rho_3$  = Albedo planetário da banda 3;  $\rho_4$  = Albedo planetário da banda 4;  $\rho_5$  = Albedo planetário da banda 5;  $\rho_6$  = Albedo planetário da banda 6; e  $\rho_7$  = Albedo planetário da banda 7.

$r$  = Pesos do Albedo (que são fatores multiplicativos);  $r_2 = 0,300$ ;  $r_3 = 0,277$ ;  $r_4 = 0,233$ ;  $r_5 = 0,143$ ;  $r_6 = 0,035$ ;  $r_7 = 0,012$ . Esses valores podem ser obtidos através da equação 6, dada por (CHANDER; MARKHAM, 2003; SILVA *et al.*, 2016):

$$K_b = \frac{\pi \cdot L_b}{r_b \cdot \text{Cos}Z \cdot d_r} \quad (6)$$

Onde:  $K_b$  é a constante solar ( $K_b, W \text{ m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ );  $\pi = 3.14$ ;  $L_b$  = Radiância espectral de cada banda;  $r_b$  = Reflectância espectral de cada banda;  $\text{Cos}Z$  = Cosseno do ângulo solar zenital, extraídos dos metadatos; corresponde à correção da excentricidade da órbita terrestre, verificado na equação 4.

### 4° Etapa

#### 3.6.4 Transmissividade Atmosférica

Em condições de céu claro, pode-se obter a transmissividade atmosférica através da Equação 7, proposta por Allen *et al.* (2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5}z \quad (7)$$

Z = corresponde à altitude média da área e/ou a altitude de cada pixel da imagem. Para obter a altitude da imagem, foi utilizado imagens SRTM/TOPODATA, disponibilizadas no site do INPE, após a aquisição, foi possível realizar um MDT, obtendo as informações altimétricas da área de interesse.

## 5° Etapa

### 3.6.5 Albedo da Superfície ( $\alpha$ )

Albedo da Superfície ou Albedo Corrigido dos efeitos atmosféricos. Através da equação, tem-se o albedo corrigido, conforme Allen *et al.* (2002, 2007) na Equação 8:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (8)$$

$\alpha_{toa}$  = Albedo Corrigido;  $\alpha_{atm}$  = Albedo do Topo da Atmosfera; e  $\tau_{sw}$  = Transmissividade obtida na equação anterior.

## 6° Etapa

### 3.6.6 Índices de Vegetação (NDVI, SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF)

#### 3.6.6.1 Índice de vegetação da diferença normalizada – ndvi

O NDVI é um índice de vegetação sensível às mudanças na cobertura vegetal, e tem a capacidade de mensurar o potencial da biomassa da área analisada, foi proposto por Rouse *et al.* (1973;1974) através da equação 9:

$$NDVI = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)} \quad (9)$$

Onde:

IVP = Representa o Infravermelho próximo; e V = Representa o Vermelho

#### 3.6.6.2 Índice de vegetação ajustado para o solo – savi

O SAVI é um índice de vegetação ajustada para os efeitos de “background” solo, proposto por Huete (1988), obtido através Equação 10:

$$SAVI = \frac{(1 + L)(IVP - V)}{(L + IVP + V)} \quad (10)$$

Onde:

L = É um fator de correção, onde foi indicado por os valores de 0,1; IVP = Representa o Infravermelho próximo; e V = Representa o Vermelho

### 3.6.6.3 Índice de área foliar - iaf

O IAF é computado através da Equação 11, este índice é um indicador de biomassa de cada pixel, e é determinado pela razão entre a área total de todas as folhas contidas em cada pixel, pela área do pixel, realizada através de uma equação empírica, proposta por Allen *et al.* (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (11)$$

## 7º Etapa

### 3.6.7 Emissividades da Superfície

Para que haja a obtenção da temperatura da superfície, é indicado utilizar a equação de Planck Invertida, que é validada para um corpo negro. Os pixels não emitem radiação eletromagnética (REM), por tanto, há uma necessidade da introdução dos valores da emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$  do Sensor Landsat 8 OLI/TIRS, que corresponde à: 10,60 – 11,19  $\mu\text{m}$ . Destarte, quando o computo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, deve-se considerar a emissividade no domínio da banda larga  $\epsilon_0$  (6 -14 $\mu\text{m}$ ).

Devido ao fato de cada pixel não emitir energia eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de estabelecer sua emissividade no domínio espectral da banda termal imagiada pelo canal termal ( $\epsilon_{NB}$ ), obtida pela

De acordo com Allen *et al.* (2007) as emissividades  $\epsilon_{NB}$  (Equação 12) e  $\epsilon_0$  (Equação 13), podem ser obtidas, para  $IAF > 3$  considera-se  $\epsilon_{NB} = 0,98$  e, para corpos hídricos  $IAF = 0,0$   $\epsilon_{NB} = 0,99$  conforme:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 * IAF \quad (12)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 * IAF \quad (13)$$

Para as emissividades considerou-se  $\epsilon_0 = 0,98$  quando  $IAF > 3$  e,  $\epsilon_0 = 0,985$  para  $IAF = 0,0$ , representando então os corpos hídricos (ALLEN *et al.* 2007).

## 8° Etapa

### 3.6.8 Temperatura da Superfície ( $T_s$ )

Para a obtenção da Temperatura da Superfície ( $T_s$ ) utiliza-se a radiância espectral da banda termal  $L_\lambda$  do Landsat 8, que corresponde à banda 10, e realiza-se a inserção da  $\epsilon_{NB}$  obtida no cômputo anterior à  $T_s$ .

Desta maneira, é possível a obtenção da temperatura da superfície (K), conforme a Equação 14, proposta por Allen *et al.* (2002).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln \left( \frac{\epsilon_{nb} K_1}{L_{\lambda,10}} + 1 \right)} \quad (14)$$

Onde:

$T_s$  = Temperatura da Superfície em *Kelvin*;  $K_1$  = Constante de Calibração da Banda 10 (774.8853);  $K_2$  = Constante de Calibração da Banda 10 (1321.0789);  $L_{\lambda,10}$  = Radiância Espectral da Banda Termal do Landsat 8/TIRS; e  $\epsilon_{NB}$  = Emissividade obtida no cômputo anterior.

## 9° Etapa

### 3.6.9 Radiação de Onda Longa Emitida

A radiação de onda Longa emitida pela superfície  $R_{ol,emi}$ , ( $Wm^{-2}$ ) é dada através Equação 15 proposta por Stefan-Boltzman:

$$R_{ol,emi} = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (15)$$

Onde:

$\epsilon_0$  = Emissividade de Cada Pixel;  $\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzman Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ); e  $T_s$  = Temperatura da Superfície em *Kelvin* (k).

## 10° Etapa

### 3.6.10 Radiação de Onda Curta Incidente

A radiação de onda curta incidente à  $R_{\text{sol,inc}}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) corresponde ao fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície do orbe terrestre, que em condições de céu claro é proposta a Equação 16 dada por Allen *et al.* (2002):

$$R_{\text{sol,inc}} = S \cdot \text{COS } Z \cdot d_r \cdot \tau_{\text{sw}} \quad (16)$$

Onde:

$R_{\text{sol,inc}}$  = Radiação de Onda Curta Incidente;  $S$  = Constante Solar ( $1367 \text{ Wm}^{-2}$ );  $Z$  = Ângulo Zenital Solar;  $d_r$  = É o inverso do quadrado da distância Terra-Sol; e  $\tau_{\text{sw}}$  = Transmissividade Atmosférica.

## 11° Etapa

### 3.6.11 Emissividade Atmosférica

A emissividade Atmosférica é obtida conforme Equação 17, proposta por Allen *et al.* (2002):

$$\epsilon = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{\text{sw}})^{0,09} \quad (17)$$

Onde:

$\epsilon_a$  = É a emissividade Atmosférica

## 12° Etapa

### 3.6.12 Radiação De Onda Longa Incidente

Radiação de onda longa incidente emitida, é emitida pela atmosfera na direção da superfície do orbe terrestre  $R_{\text{ol,atm}}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ), pode ser computada pela equação de Stefan-Boltzmann (Equação 18):

$$R_{\text{ol,atm}} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (18)$$

Onde:

$\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzman Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ );  $T_a$  = Temperatura do Ar em *Kelvin* (K); e  $\epsilon_a$  = É a emissividade Atmosférica

### 13° Etapa

#### 3.6.13 Saldo de Radiação (Rn)

O Saldo de Radiação à Superfície (Rn) é dado em ( $\text{Wm}^{-2}$ ). O Rn é computado através da equação do balanço de radiação à superfície (Equação 19):

$$R_n = R_{sol,inc} (1 - \alpha_{sup}) - R_{ol,emit} + R_{ol,atm} - (1 - \epsilon_0)R_{ol,atm} \quad (19)$$

$R_{sol,inc}$  = Corresponde à radiação de onda curta incidente;  $\alpha_{sup}$  = Corresponde ao Albedo Corrigido dos efeitos atmosféricos;  $R_{ol,emi}$  = Fator correspondente à radiação de onda longa emitida por cada pixel da imagem;  $R_{ol,atm}$  = Corresponde à radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel da imagem; e  $\epsilon_0$  = Corresponde aos valores da emissividade de cada pixel da imagem

### 14° Etapa

#### 3.6.14 Fluxo De Calor No Solo (G)

O Fluxo de Calor no Solo é dado em ( $\text{Wm}^{-2}$ ), e pode ser obtida através da Equação empírica 20 desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2) (1 - 0,98 \text{NDVI}^4) \right] R_n \quad (20)$$

Onde:

$T_s$  = Temperatura da Superfície dada em ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\alpha$  = Albedo da Superfície; NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; e  $R_n$  = Saldo de Radiação.

Para corpos hídricos, onde o NDVI < 0 considera-se o  $G = 0,3.R_n$ . Conforme afirmação de Bezerra (2006); Silva e Cândido (2004), ou valores de  $G = 0,5.R_n$  proposto por Allen *et al.* (2002).

## 15° Etapa

### 3.6.15 Fluxo De Calor Sensível (H)

Considerado como o cerne do SEBAL (SILVA, 2013), em consonância com Bezerra (2006), nesta etapa é onde deve-se haver uma acentuada atenção por parte do pesquisador, por se tratar de uma série de condições e pressupostos, e que se realizado de maneira equivocada, pode-se ocorrer a invalidação de toda a estimativa do SEBAL.

O fluxo de calor sensível é estimado com base na velocidade do vento e temperatura da superfície usando uma calibração interna da diferença de temperatura próxima à superfície entre dois níveis próximo à superfície conforme a Equação 21, proposta por Bastiaanssen *et al.* (1998).

$$H = \rho c_p \frac{(a + bT_s)}{r_{ah}} \quad (21)$$

Onde:

H= Fluxo de Calor Sensível ( $Wm^{-2}$ );  $\rho$  = A massa específica do Ar;  $C_p$  = representa o calor específico do Ar à pressão constante de ( $1004 J.Kg^{-1}.K^{-1}$ ); a e b = representam as constantes de calibração da diferença da temperatura entre dois níveis  $Z_1$  e  $Z_2$ ;  $T_s$  = Temperatura da Superfície em ( $^{\circ}C$ ); e  $r_{ah}$  = é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $sm^{-1}$ ).

Foi elaborado um fluxograma Figura 5, que representa todas as etapas computacionais para o cálculo do H, onde inicia-se com dados meteorológicos extraídos do interior da cena, neste caso foi utilizado os dados da Embrapa Semiárido, localizada no município de Petrolina-PE. Foram extraídos: Velocidade do Vento ( $ms^{-1}$ ) à 2 m; e Altura média da vegetação em (m), é extraída esta informação da vegetação que envolve à estação meteorológica inserida na cena.

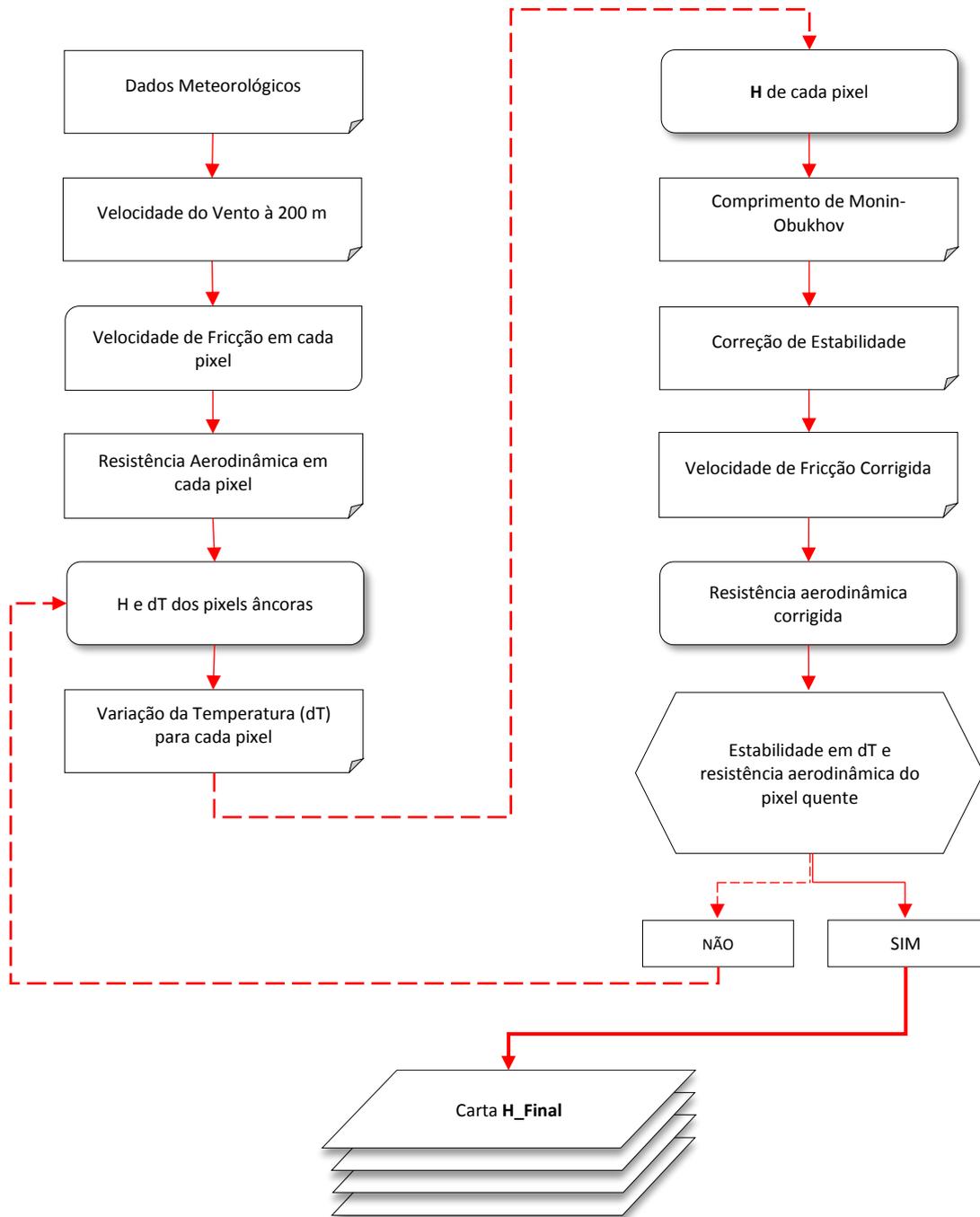
Para o alcance dos valores de H com o modelo SEBAL, é necessário a extração da temperatura de dois pixels extremos, representados pelo “pixel frio” ( $P_{cold}$ ) e o “pixel quente” ( $P_{hot}$ ) esses correspondem à disparidade da  $dT$  da superfície e atmosfera adjacente, promovendo o Fluxo de Calor Sensível (WARREN *et al.* 2014). Para o autor, deve-se selecionar o “pixel frio” ( $P_{cold}$ ) em uma superfície líquida, como rio ou mar. Já para o “pixel quente” ( $P_{hot}$ ) é indicado selecionar uma área que por hipótese alguma, houvesse indicio de evapotranspiração, como solo exposto. Tem-se também a resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $r_{ah}$ ), o mesmo pode ser calculado com Equação 22:

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)}{u_* \cdot K} \quad (22)$$

Onde:

$Z_1$  e  $Z_2$  = São Alturas em metros acima da superfície, conforme Silva (2013) pode-se indicar os valores de  $Z_1$  e  $Z_2$  como;  $Z_1 = 0,1$  m;  $Z_2 = 2,0$  m;  $u_*$  = Corresponde à Velocidade de Fricção ( $\text{ms}^{-1}$ ); e  $k$  = Representa à constante de Von Karman (0,41).

Figura 5 - Fluxograma do processo iterativo de obtenção do fluxo de calor sensível – H



Fonte : MACHADO *et al.* 2014.

Neste momento da pesquisa, são reunidas as informações extraídas da estação meteorológica e seu entorno, onde pode-se citar a aquisição das informações sobre a velocidade do vento  $u$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) e a altura média da vegetação  $h$  (m) em volta da estação meteorológica.

É considerado um raio igual a metade da resolução espacial do Landsat 8/OLI e a altura de obtenção da velocidade do vento ( $u$ ). Desta maneira, foi obtido o coeficiente de rugosidade da local da cena  $Z_{0m}$  (Equação 23), em tendo-se como parâmetro a altura média da vegetação conforme proposto por Brutsaert (1982):

$$Z_{0m} = 0,12 h \quad (23)$$

Nesta pesquisa, foram adquiridas informação da caatinga preservada, localizada na estação meteorológica da Embrapa Semiárido, tendo-se o valor médio de 0,10 m da cobertura vegetal local. De acordo com Silva (2013), pode-se obter esses valores com mapa de uso e ocupação da terra, ou mesmo com as imagens geradas de NDVI e/ou SAVI, obtendo então os valores de  $Z_{0m}$ .

$$u_* = \frac{ku_x}{\ln\left(\frac{Z_x}{Z_{0m}}\right)} \quad (24)$$

Onde:

$K$  = Constante de von Karman ( $K = 0,41$ );  $u_x$  = Velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) na altura de  $Z_x$ ; e  $Z_{0m}$  = Coeficiente de Rugosidade (m) (comumente à 2,0 m).

A velocidade de  $U_x$  utilizada na pesquisa está logo a baixo, na Tabela 4, os dados são referentes à data e hora do imageamento realizado pelo Landsat 8/OLI/TIRS.

Tabela 4 - Data e velocidade do vento para a cena em estudo

<b>DATA DA IMAGEM</b>	<b>VELOCIDADE DO VENTO (<math>\text{m.s}^{-1}</math>)</b>
03/09/2013	0,67

Fonte: Embrapa Semiárido.

Considerando a atmosfera em equilíbrio neutro, é realizado à estimativa da velocidade do vento à uma altura 200 m, registrando-se  $Z = 200\text{m}$ ,  $u_{200} (\text{ms}^{-1})$ , essa estimativa da velocidade é denominada de (*blending height*), neste cômputo é considerado que os efeitos da rugosidade da superfície terrestre são desprezíveis, portanto não há interferência na velocidade do vento, seguindo a Equação (25):

$$u_{200} = u_* \frac{\ln\left(\frac{200}{Z_{0m}}\right)}{k} \quad (25)$$

Levando-se em conta a hipótese que a velocidade do vento  $U_{200}$  refere-se à toda a cena em análise, podemos obter a velocidade de fricção  $u^*$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) dado à cada pixel da imagem, através da Equação (26):

$$u_* = \frac{ku_{200}}{\ln\left(\frac{200}{Z_{0m}}\right)} \quad (66)$$

Onde:

$Z_{0m}$  (m) pode ser obtido em função do SAVI, conforme a Equação (27) proposta por Bastiaassen (2000):

$$Z_{0m} = \exp(-5,809 + 5,62 \text{ SAVI}) \quad (77)$$

A etapa consecutiva à  $Z_{0m}$ , refere-se ao computo da diferença da temperatura próxima à superfície  $dT$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) para cada pixel da imagem analisada. É possível obter os valores de  $dT$  em uma equação linear entre a  $dT$  e  $T_s$ , como pode-se conferir na Equação (28):

$$dT = a + bT_s \quad (28)$$

Onde:

$dT$ = diferença de temperatura próxima à superfície;  $T_s$  = Temperatura da Superfície; e  $a$  e  $b$  = São coeficientes da relação linear, e são obtidos a partir dos pixels denominados “Pixels Âncoras” esses são os pixels (quente e frio) e/ou ( $P_{\text{cold}}$  e  $P_{\text{hot}}$ ).

O “pixel frio” ( $P_{\text{cold}}$ ) comumente é selecionado em uma área líquida (corpos hídricos) ou uma área que apresenta uma vegetação bem irrigada e/ou uma área de floresta, local onde deve-se haver um número considerável de evaporação, pois toda a energia disponível é utilizada no processo evaporativo (WARREN *et al.* 2014). Desta maneira assume-se que o fluxo de calor sensível é nulo ( $H_{\text{frio}} = 0$ ) e o fluxo de calor latente  $LE_{\text{frio}}$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) é dado através da equação (29):

$$LE_{\text{frio}} = R_n - G \quad (29)$$

Já o “pixel quente” ( $P_{\text{hot}}$ ) deve ser selecionado em uma área de solo exposto, local considerado como uma área que não ocorrerá o processo evaporativo, onde pode-se assumir que o fluxo de calor latente é nulo ( $LE_{\text{quente}} = 0$ ), local onde provavelmente não haverá o processo evaporativo, e é dado pela equação (30) em ( $\text{Wm}^{-2}$ ):

$$H_{\text{quente}} = R_n - G = \frac{\rho c_p (a + bT_{\text{sup}})}{r_{\text{ah}}} \quad (308)$$

Onde:

$T_{\text{sup}}$  = Temperatura da Superfície;  $R_n$  = Saldo de Radiação;  $G$  = Fluxo de Calor no Solo; e  $r_{\text{ah}}$  = É a resistência aerodinâmica ao transporte de calor.

Todas essas informações citadas acima, são encontradas no “pixel quente” ( $P_{\text{hot}}$ ). Em posse de todos esses valores, pode-se obter no pixel quente da imagem em análise a Equação (31):

$$a + bT_{\text{sup}} = r_{\text{ah}}(R_n - G) / \rho c_p \quad (31)$$

Como no pixel frio  $dT = 0$ , sendo,  $a + bT_s = 0$ , é tido então um sistema apresentado com duas equações com duas incógnitas, possibilitando o cômputo de  $a$  e  $b$ . Podendo-se obter o  $H$ , segunda a equação  $H$ , citada acima.

Para tanto, vale ressaltar, que o cômputo do  $H$ , vale-se, tão somente, para um processo de refinamento dos dados, que é o processo de iteração, que visa refina-lo a cada momento do processo iterativo, levando-se em consideração à condição de estabilidade de cada pixel da cena.

Nessa perspectiva, devido aos efeitos da turbulência da atmosfera e a resistência aerodinâmica, é indicado a aplicação da teoria de similaridade de Monin-Obukhov, que visa à estabilização da atmosfera, o mesmo é computado em função dos fluxos de calor em todos os pixels da cena em análise da pesquisa conforme a Equação (32) (ALLEN *et al.* 2002; BASTIAANSSEN, 1995; BEZERRA, 2006; Bezerra, Da Silva, e Ferreira (2008); SILVA, 2013).

$$L = -\frac{\rho c_p u_*^3 T_s}{k \cdot g \cdot H} \quad (32)$$

Onde:

$\rho$  = corresponde à densidade do ar;  $c_p$  = Corresponde ao calor específico do ar;  $u_*$  = Corresponde a velocidade de fricção de cada pixel ( $\text{ms}^{-1}$ );  $T_s$  = Temperatura da superfície (K);  $g$  = Corresponde ao módulo do campo gravitacional terrestre ( $9,81 \text{ ms}^{-2}$ ); e  $H$  = Corresponde ao fluxo de calor sensível ( $\text{Wm}^{-2}$ ), pixel a pixel, obtido considerando a condição de neutralidade.

Os valores de  $L$  definem as condições de estabilidade, obedecendo aos seguintes critérios:

Se  $L < 0$ , compreende-se que a atmosfera seja considerada como instável

Se  $L > 0$ , a atmosfera é considerada estável

Se  $L = 0$  a atmosfera é considerada neutra

Dependendo das condições da atmosfera, os valores das correções de estabilidade para o transporte de momentum ( $\psi_m$ ) e de calor ( $\psi_h$ ) deverão ser considerados. Para tanto, utiliza-se as formulas propostas por Paulson (1970) e Webb (1970):

1. Quando  $L < 0$  (condições de instabilidade) tem-se a Equação (33):

$$\psi_{m(100m)} = 21n \left( \frac{1 + x_{(200m)}}{2} \right) + \ln \left( \frac{1 + x_{(200m)}^2}{2} \right) - 2 \arctg(x_{(200m)}) + 0,5 \pi \quad (33.a)$$

$$\Psi_{h(2m)} = 21n \left( \frac{1 + x_{(2m)}^2}{2} \right) \quad (33.b)$$

$$\Psi_{h(0,1m)} = 21n \left( \frac{1 + x_{(0,1m)}^2}{2} \right) \quad (33.c)$$

Onde:

$$x_{(200m)} = \left( 1 - 16 \frac{200}{L} \right)^{0,25} \quad (34.a)$$

$$x_{(2m)} = \left( 1 - 16 \frac{2}{L} \right)^{0,25} \quad (34.b)$$

$$x_{(0,1m)} = \left( 1 - 16 \frac{0,12}{L} \right)^{0,25} \quad (34.c)$$

2. Quando  $L > 0$  (condições de estabilidade)

$$\Psi_{m(200m)} = -5 \left( \frac{200}{L} \right) \quad (35.a)$$

$$\Psi_{m(2m)} = -5 \left( \frac{2}{L} \right) \quad (35.b)$$

$$\psi_{m(0,1m)} = -5 \left( \frac{0,1}{L} \right) \quad (35.c)$$

3. Quando  $L = 0$  (condições de neutralidade)

$$\psi_m = 0 \text{ e } \psi_h = 0 \quad (36)$$

Velocidade de fricção corrigida  $u_*$  ( $\text{ms}^{-1}$ ):

$$u_* = \frac{u_{200} \cdot k}{\ln \left( \frac{200}{Z_{0m}} \right) - \psi_{m(200m)}} \quad (37)$$

Onde:

$U_{200}$  = Velocidade do vento à 200 m ( $\text{ms}^{-1}$ );  $k$  = Constante de von Karman (0,41);  $Z_{0m}$  = Coeficiente de rugosidade de cada pixel (m); e  $\psi_{m(200m)}$  = Correção de estabilidade para o transporte de momentum à 200 m.

Em posse do  $u_*$  corrigido, foi possível computar e obter o valor corrigido da resistência aerodinâmica ao transporte de calor  $r_{ah}$  ( $\text{sm}^{-1}$ ) através da seguinte Equação (38) (ALLEN *et al.* 2002; BASTIAANSEN, 1995; BEZERRA; SILVA; FERREIRA, 2008 ) logo a baixo:

$$r_{ah} = \frac{\ln \frac{Z_2}{Z_1} - \psi_{h(z_2)} + \psi_{h(z_1)}}{u_* \cdot k} \quad (38)$$

Onde:

$Z_2 = 2,0$ ;  $Z_1 = 0,1$ ;  $\Psi_{h(z_2)}$  = corresponde a correção de estabilidade para o transporte de calor à 2,0 m; e  $\Psi_{h(z_1)}$  = corresponde a correção de estabilidade para o transporte de calor à 0,1 m.

Os valores obtidos, neste cômputo, retornam ao computo da função da diferença de temperatura, repetindo-se o procedimento até que haja à estabilidade nos valores pertinentes a diferença da temperatura ( $dT$ ) e a resistência aerodinâmica ( $r_{ah}$ ) para o pixel quente (ALLEN *et al.* 2002; BEZERRA, 2006; SILVA, 2013).

## 16° Etapa

### 3.6.16 Fluxo de Calor Latente (LE)

O fluxo de calor latente LE ( $\text{Wm}^{-2}$ ) é obtido após a obtenção dos dados de saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G) e o fluxo de calor sensível (H). O cômputo do LE, pode ser realizado através da diferença entre o sando de radiação, fluxo de calor no solo e o fluxo de calor sensível, conforme Equação (39) (BASTIAANSSEN *et al.* 1998; BEZERRA *et al.* 2012; MOHAMED; BASTIAANSSEN; SAVENIJE , 2004; OLIVEIRA, 2012; RUHOFF, 2011).

$$LE = Rn - G - H \quad (39)$$

Onde:

LE = Corresponde ao fluxo de calor latente instantâneo, seu valor é dado para o momento da passagem do satélite na área de estudo.

## 17° Etapa

### 3.6.17 Evapotranspiração Real Diária ( $\text{mm.dia}^{-1}$ )

Para obtenção dos valores da evapotranspiração diária - ETr  $\text{mm dia}^{-1}$ , tem-se como o primeiro processo a fração evaporativa - FE, dadas pela razão do LE e (Rn - G), obtida pela Equação (40), visto em (BASTIAANSSEN *et al.* 1998; RUHOFF, 2011; SILVA *et al.* 2010; TEIXEIRA *et al.* 2009a,b):

$$FE_{ins} = \frac{LE}{Rn - G} = \frac{LE_{24h}}{Rn_{24h}} \quad (40)$$

Logo após o cômputo acima da Fração Evaporativa - FE, realiza-se o cômputo do Saldo de Radiação 24 horas, onde pode-se ver com maior detalhe em Coelho (2016), obtendo-se então o Rn 24h através da Equação (41):

$$Rn_{24h} = (1 + \alpha) R_{oc,24h_{medida}} - 110\tau_{24h} \quad (41)$$

Onde:  $\alpha$  = Albedo de Superfície;  $R_{oc,24h, medida}$  = radiação solar global média diária ( $W m^{-2}$ ), dados obtidos da área de estudos. Foram obtidos na Estação Micrometeorológica da EMBRAPA – Semiárido – PE. Obtendo-se então, a  $\tau_{24h}$ , que representa a transmissividade atmosférica diária, obtida na equação 42;

$$\tau_{24h} = \frac{R_{oc,24h, medida}}{R_{TOA,24h}} \quad (42)$$

Por fim, é obtido a evapotranspiração diária é obtida da Equação 43, vista em Coelho (2016) e Oliveira (2012a):

$$ET = 0,035 \left( \frac{LE}{Rn - G} \right) [(1 - \alpha) R_{oc,24h, medida} - 110 \tau_{24h}] \quad (43)$$

### 3.6.18 Parâmetros Estatísticos Utilizados

Para análise comparativa entre as estimativas realizadas no ERDAS de “forma manual” e no GRASS realizado de “forma automatizada”, foram utilizados três procedimentos estatísticos para identificar o nível da acurácia em relação as estimativas fomentadas de forma manual e automaticamente. Foi possível realizar a estatística das imagens com a extração de valores de mil pontos amostrais, que foram selecionados de forma aleatória, havendo então uma melhor distribuição dos pontos para a realização da estatística. Para verificar o comportamento estatístico das imagens, foram aplicados o, Coeficiente de Correlação – r, Equação 44, que mostra o nível de aproximação das estimativas, que varia de -1, para a correlação negativa, mostrando valores inversamente proporcionais e, valores até 1, que indica forte correlação positiva. Foi aplicado também o PBIAS (%), Equação 45, que é dado em porcentagem, seus valores negativos indicam uma subestimativa dos valores estimados, enquanto seus valores positivos, indicam superestimativa das estimativas. E foi aplicado por fim, a Raiz do Erro Quadrático Médio – REQM, Equação 46, que indica a acurácia dos resultados numéricos, indicando o erro, em valores positivos.

**COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO**

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n (\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n (\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (44)$$

**PBIAS**

$$PBIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^N X_{GRASS} - X_{ERDAS}}{\sum_{i=1}^N X_{ERDAS}} \quad (45)$$

**RAIZ DO ERRO QUADRÁTICO MÉDIO**

$$REQM = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (X_{GRASS} - X_{ERDAS})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (46)$$

Onde;  $X_{GRASS}$  é o valor Estimado pelo GRASS automatizado e  $X_{ERDAS}$ , valor Estimado pelo ERDAS (ET\_SEBAL).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados encontrados na pesquisa.

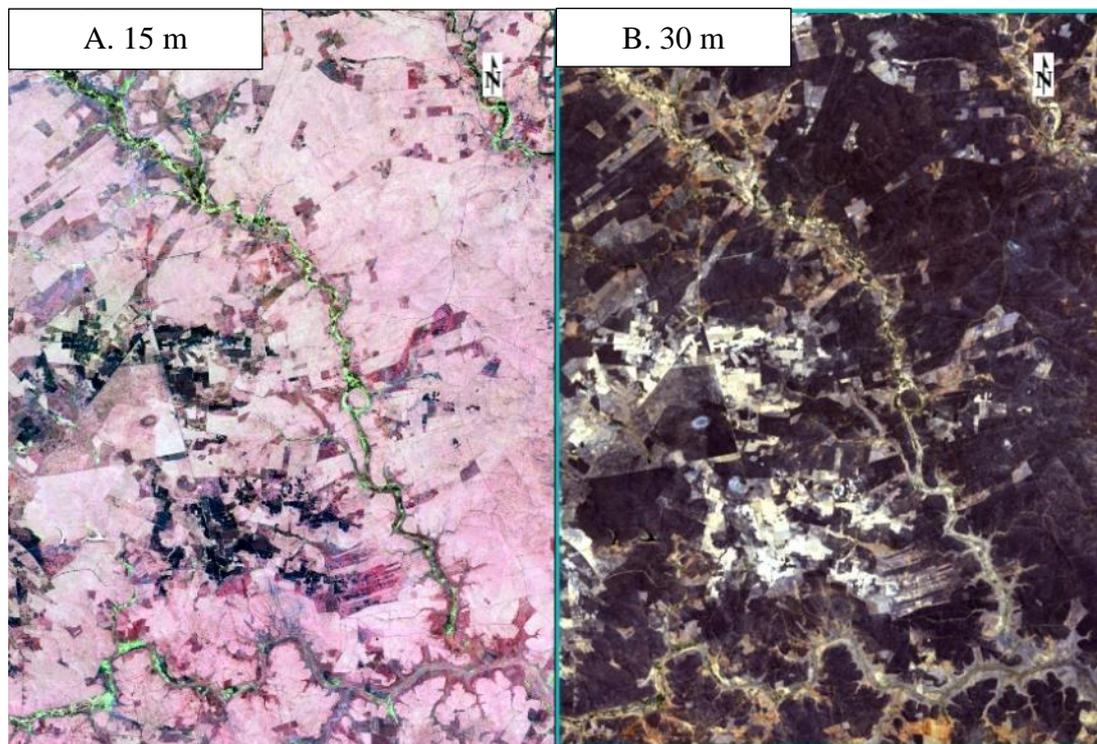
### 4.1 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Procedimentos seguidos para a realização do uso e ocupação de terra.

#### 4.1.1 Reamostragem de Pixel

Para a realização da classificação supervisionada do uso da terra, foi realizada a técnica de reamostragem dos pixels, de 30 metros, para 15 metros. Esse procedimento foi realizado no Software ArcGis 10.4.1. Onde os valores do pixel de 30 metros, passam para 15 metro, através da fusão de imagens Figura 6. Este procedimento foi possível com a imagem Pancromática do Landsat 8 OLI/TIRS, que possuem uma resolução espacial máxima de 15 metros, e corresponde à banda 8. Sendo assim, foi realizada a fusão dos pixels. Este procedimento foi de grande relevância, pois se trata de uma maior acurácia dos valores dos pixels. Possibilitando uma melhora dos dados radiométricos do satélite, e conseqüentemente uma melhor classificação supervisionada.

Figura 6 - Imagem reamostrada de 30 para 15 metros, do lado esquerdo da figura, encontra-se a imagem A. 15 m; ao lado direito, a B. 30 m sem tratamento.

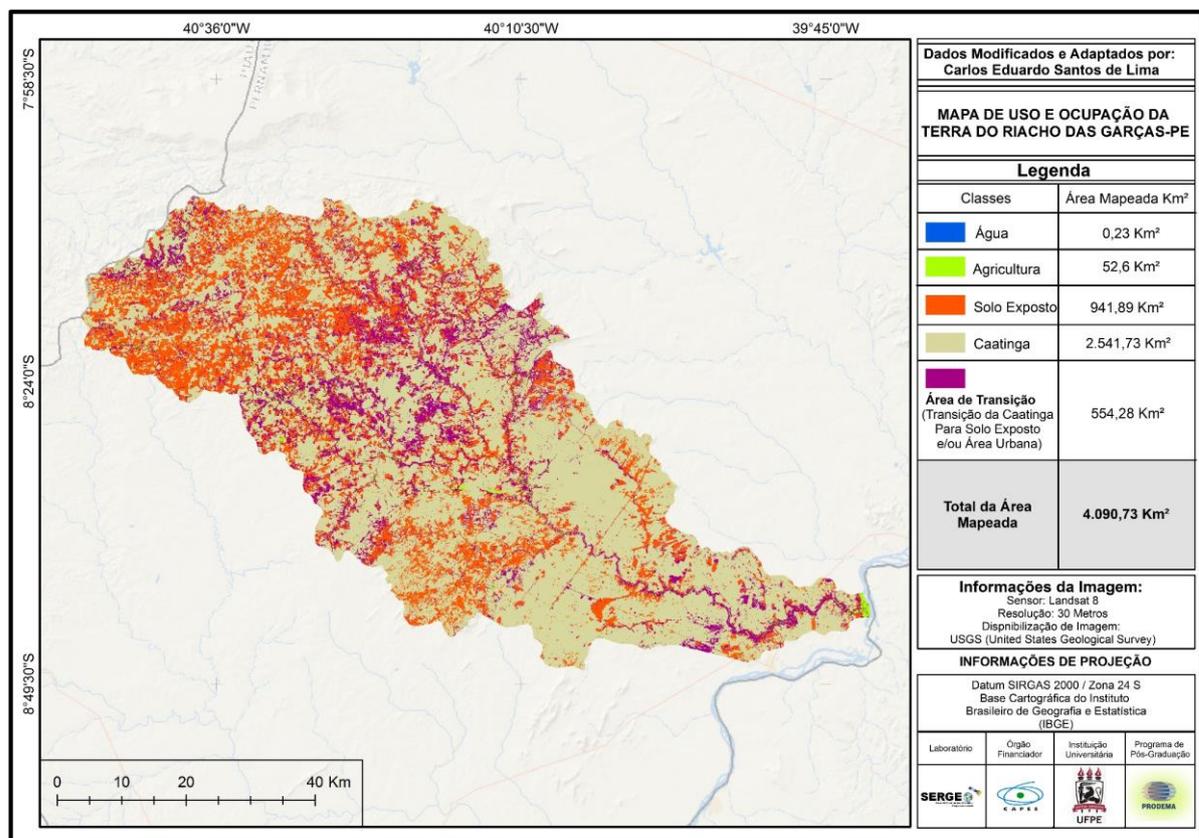


Fonte: O autor.

#### 4.1.2 Mapa do Uso e Cobertura da Terra

Foi realizada a classificação supervisionada da bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE. Para a Classificação, foram utilizadas 5 classes, que estão inseridos na bacia hidrográfica em estudo. A classes foram; Água, Agricultura, Solo Exposto, Caatinga e Área de Transição. Podemos conferir na Figura 7, o mapa de uso e cobertura do solo da supracitada bacia hidrográfica.

Figura 7 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra, da Bacia Hidrográfica do Riacho das Garças – PE



Fonte: O autor.

Após a classificação supervisionada da imagem, foi possível quantificar esses dados, dividindo os valores da área classifica em classes, a primeira classe, correspondente à água, aos recursos hídricos inseridos na bacia, foi quantificado por 0,23 Km². É importante salientar, que a imagem classificada data do dia 3 de setembro de 2013, correspondendo ao período seco no semiárido brasileiro. A segunda classe da bacia, corresponde à agricultura irrigada, tendo uma área total de 52,6 Km². A terceira classe, é o solo exposto, com uma área de 941, 89 Km². A quarta classe mapeada, corresponde ao bioma Caatinga, com um total de 2.541,73 Km². A

quinta classe, corresponde à área classificadas como área de transição, correspondente à transição da caatinga para área urbana e solo exposto, todas as classes foram somadas, obtendo-se um valor total de 4.090, 73 km<sup>2</sup>, conforme a Tabela 4.

Tabela 5 - Informações do uso e ocupação da terra, da bacia hidrográfica do riacho das Garças-PE

<b>Classes</b>	<b>Área Mapeada em Km<sup>2</sup></b>
Água	0,23 Km <sup>2</sup>
Agricultura	52,6 Km <sup>2</sup>
Solo Exposto	941, 89 Km <sup>2</sup>
Caatinga	2.541,73 Km <sup>2</sup>
Área de Transição	554, 28 Km <sup>2</sup>
<b>Total da Área Mapeada</b>	<b>4.090, 73 Km<sup>2</sup></b>

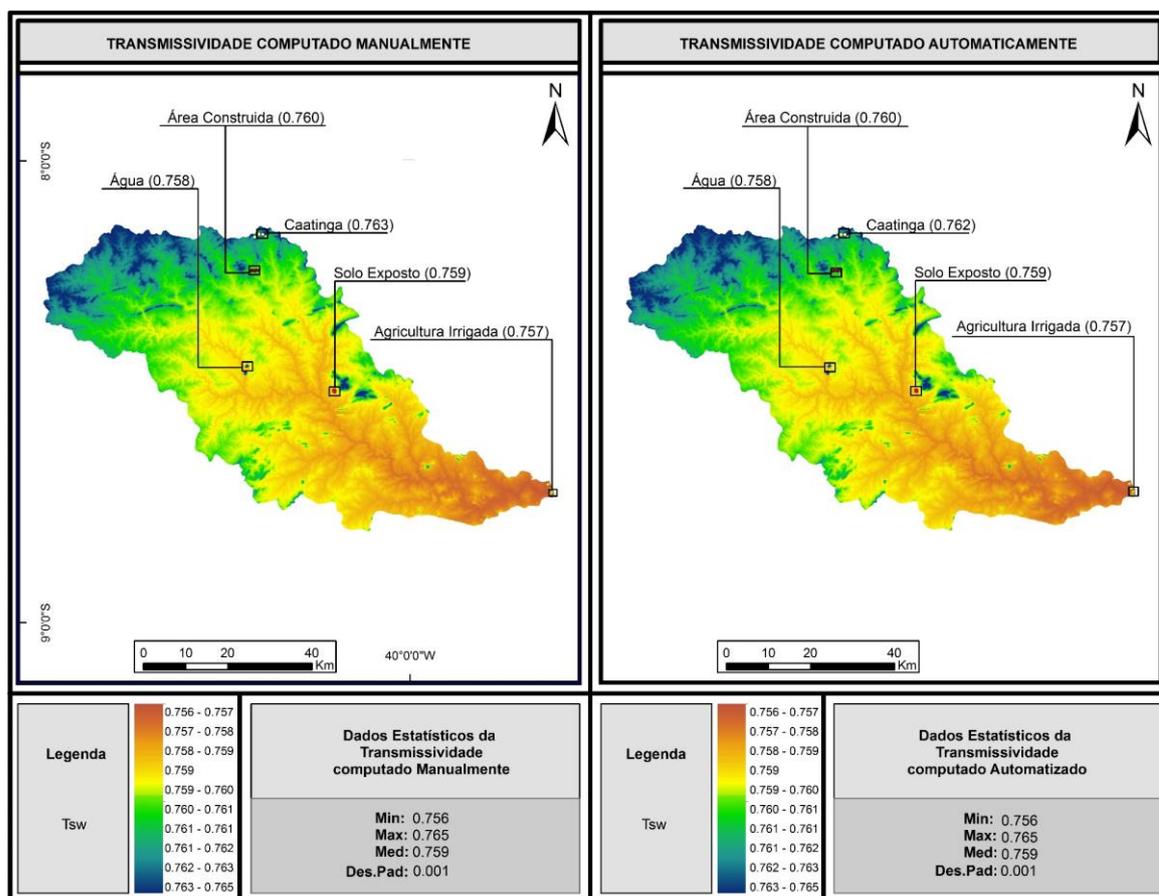
Fonte: O autor.

#### **4.1.3 Análise comparativa das Estimativas da Transmissividade Atmosférica ( $T_{sw}$ ), computado de forma Manual e Automatizada**

Para a realização da análise comparativa das estimativas manual e automatizada, foram selecionados cinco alvos, são eles; água, caatinga, solo exposto, agricultura irrigada e, área construída, onde pode-se constatar com maiores detalhes na Figura 8 e Tabela 6.

Os valores da transmissividade atmosférica para a água fora de 0,758 tanto para o cômputo manual, quanto para o cômputo automatizado. Já para a caatinga, os valores foram de 0,763 e 0,762, para o cômputo manual e automatizado, respectivamente. As estimativas realizadas para os alvos de solo exposto, agricultura e área construída (área urbana), foram de: 0,759; 0,757 e 0,760, respectivamente, observados então nas na Figura 8 e Tabela 6.

Figura 8 - Mapa da Transmissividade computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).



Fonte: O autor.

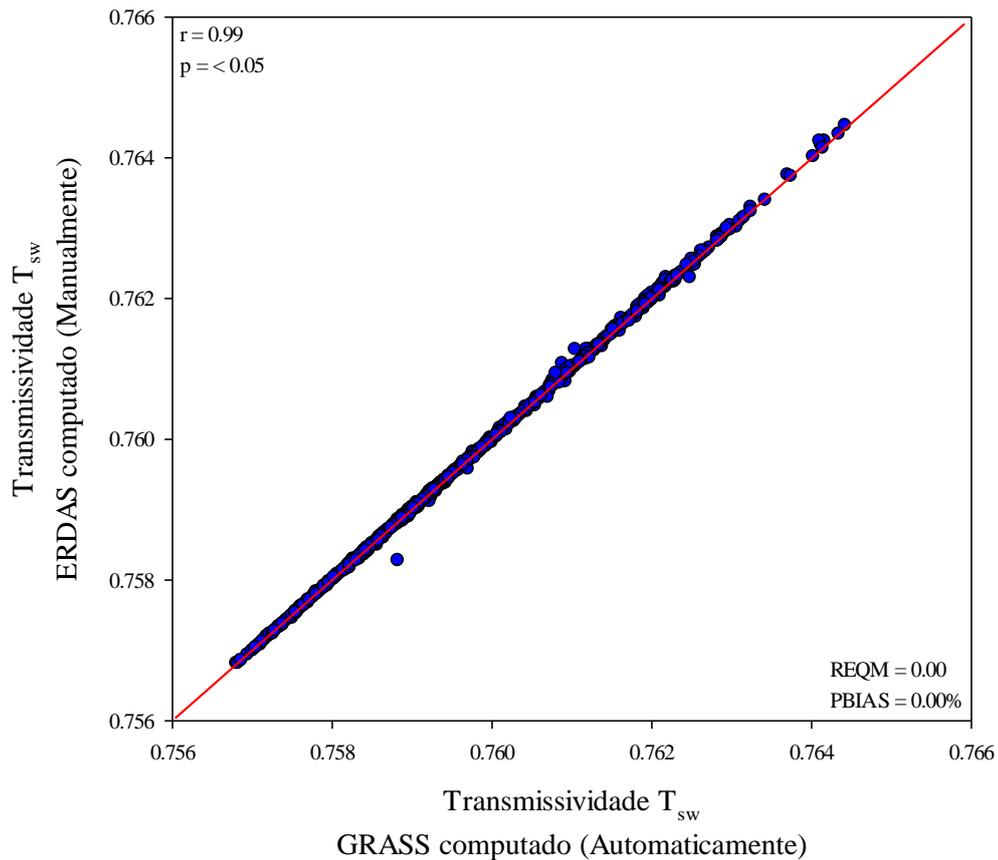
Tabela 6 - Dados comparativos da Transmissividade Obtida de Forma Manual e Automatizada

	Transmissividade computado Manualmente	Transmissividade computado Automaticamente
Água	0,758	0,758
Caatinga	0,763	0,762
Solo Exposto	0,759	0,759
Agricultura Irrigada	0,757	0,757
Área Construída	0,760	0,760

Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 9 a correlação entre a Transmissividade Atmosférica, realizada no *software* ERDAS de forma manual e, no *software* GRASS GIS, realizado de forma automática, podendo então identificar se há similaridades nas estimativas.

Figura 9 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada da Transmissividade Atmosférica ( $T_{sw}$ )



Observou-se na Figura 9 que a  $T_{sw}$  geradas de forma manual e automatizada, apresentaram grande similaridade, onde o coeficiente de correlação - r foi de 0,99, indicando uma correlação muito forte entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REQM), qual seja, 0,00, indicando uma estimativa perfeita do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). Também foram aplicados testes com o PBIAS, tendo-se resultados de 0,0%.

#### 4.1.4 Análise comparativa das Estimativas do Albedo de Superfície ( $\alpha_{sup}$ ), computado de forma Manual e Automatizada

Para a realização da análise comparativa das estimativas manual e automatizada, foram selecionados cinco alvos, são eles; água, caatinga, solo exposto, agricultura irrigada e, área construída, onde pode-se averiguar com maiores detalhes na Figura 10 e Tabela 7.

Do lado esquerdo encontramos o albedo adquirido de forma manual, já do lado direito da imagem, encontramos a carta do albedo da superfície realizado de forma automatizada, como podemos conferir na Figura 9. Para área de corpos hídricos “Água”, foram encontrados valores de 4,8 e 4,5%, na forma manual e automática, respectivamente. Os valores do albedo de superfície corroboram com Silva *et al.* (2011), que encontraram valores na ordem de 5% no Açude de São Gonçalo – PB. Já Ruhoff *et al.* (2015), em pesquisas aplicadas ao Parque Estadual da Serra do Mar, no Estado de São Paulo, identificaram valores que se intercalaram de 4 a 5% em corpos d’água. Costa *et al.* (2019), identificaram albedo acima de 3% para corpos d’água, em estudos localizado no noroeste de Minas Gerais. Giongo e Vettorazzi (2014), em pesquisa realizada na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí no Estado de São Paulo, identificaram valores que se intercalaram entre 6 e 11% em superfície d’água. Silva *et al.* (2016), identificaram valores que variaram de 3 a 8% em corpos d’água, em pesquisa realizado no semiárido da Paraíba-BR.

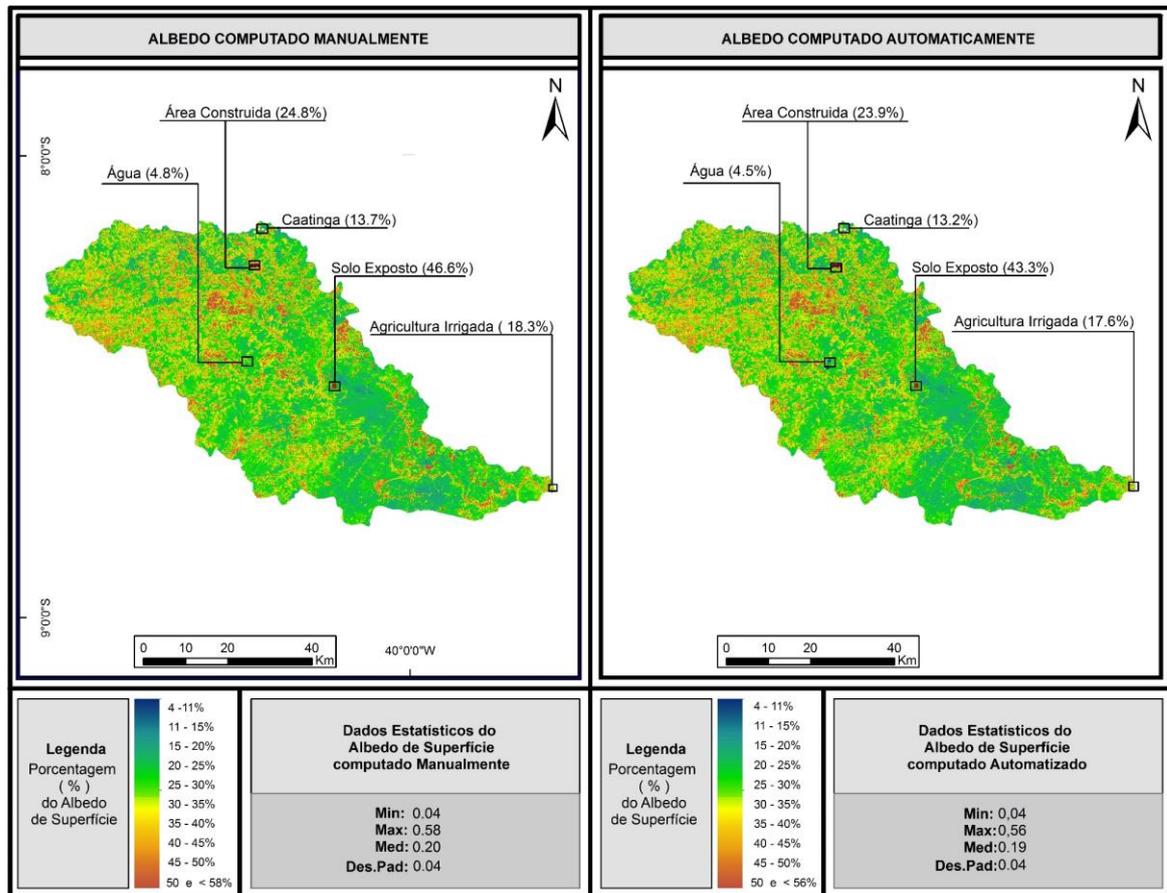
É oportuno salientar, que as áreas de vegetação nativa, apresentam, comumente valores um pouco acima das classe encontradas nos corpos hídricos, portanto, nessa pesquisa foram identificados valores de 13% para a vegetação caatinga, esses valores estão de acordo com Alves *et al.* (2017), que realizaram estudos à cerca da Bacia Hidrográfica do Pajeú, e encontraram valores de 15,5% em área de caatinga. Já Gomes *et al.* (2017) em pesquisas voltada a Ilha Solteira – SP, encontraram valores de albedo para área florestada de 13%, corroborando com esta pesquisa, os valores de albedo baixo, são justificados pela densidade da cobertura vegetal, que apresentam uma área úmida e rugosa. Silva *et al.* (2010), em pesquisas aplicadas aos Estados de São Paulo e Ceará, foram encontrados valores de 9 a 13% em áreas vegetadas na Bacia do Mogi-Guaçu - SP, corroborando com as estimativas desta pesquisa, já para a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguaribe - CE, Silva *et al.* (2010a), identificaram valores de 16 a 18% para a Caatinga. Silva *et al.* (2005a), em pesquisas do balanço de radiação aplicados na cidade de Petrolina-PE, encontraram valores que variaram de 20 a 24% para as áreas de Caatinga. Já Silva *et al.* (2008), em pesquisas no Estado do Ceará, identificaram valores de 13 a 18%, nos alvos de caatinga, corroborando com esta pesquisa.

Para os alvos selecionados da classe de Solo Exposto, foram encontrados valores de 46,6 e 43,3%, na forma computada manualmente e automática, respectivamente. Silva *et al.* (2005), encontraram valores de 33%, para áreas de solo exposto, corroborando com esta pesquisa, identificando os maiores valores para áreas sem cobertura. Gomes *et al.* (2017), encontraram valores acima de 27% para áreas de solo exposto. Silva *et al.* (2010b), em pesquisa no semiárido de Pernambuco, encontrou valores superiores à 27% em solo exposto. Silva *et al.* (2011), encontraram valores acima de 28% em São Gonçalo-PB. Já Dantas *et al.* (2010), em estudos no estado do Ceará, encontraram valores acima de 34% para áreas de solo exposto, representadas por superfícies lisas e desnudas. Di Pace *et al.* (2008), realizaram seus estudos na região semiárida, mais precisamente na Barragem de Sobradinho, entre os municípios de Casa Nova-BA e Petrolina-PE, os autores, encontraram valores que se intercalaram de 35 a 39,4%, para os alvo de solo exposto, corroborando com os valores encontrados nesta pesquisa. Oliveira *et al.* (2010), realizaram estudos na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE, e encontraram valores de 40% para áreas de solo exposto, em consonância com a presente pesquisa.

Nos alvos de agricultura, para a bacia hidrográfica em análise, foram encontrados valores de 18,3 e 17,6% para os métodos calculados de forma manual e automático, respectivamente. Silva *et al.* (2016), encontraram valores que alternaram de 13 a 19% nos pivôs (área central da plantação irrigada) da plantação de cocos, já nas áreas mais distantes dos pivôs, foram encontrados valores de 17 a 18%, corroborando então, com esta pesquisa. Silva *et al.* (2005), encontram valores de 20% para áreas de agricultura irrigada, em consonância com o presente estudo. Já Uda *et al.* (2013), em estudos na bacia hidrográfica do Alto Rio Negro – SC/PR, encontraram valores de 23% para área de agricultura.

Para áreas construídas (área urbana), foram identificados valores de 24,8 e 23,9%, nos métodos computados manualmente e automático, respectivamente. Oliveira *et al.* (2010), identificaram valores de 30% para áreas antropizadas (área urbana). Já para Uda *et al.* (2013), esses valores foram de 46% em áreas urbanas. Já Silva *et al.* (2016), identificaram valores que variaram de 28 a 31%, corroborando com os resultados encontrado nessa pesquisa. Alves *et al.* (2017), constataram valores de albedo em torno de 30% para áreas pavimentadas, como ruas, estradas e áreas residenciais (área urbana), os mesmos identificaram que a remoção da cobertura vegetal nativa, implica na elevação dos valores do albedo.

Figura 10 - Mapa do Albedo de Superfície computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



Fonte: O autor.

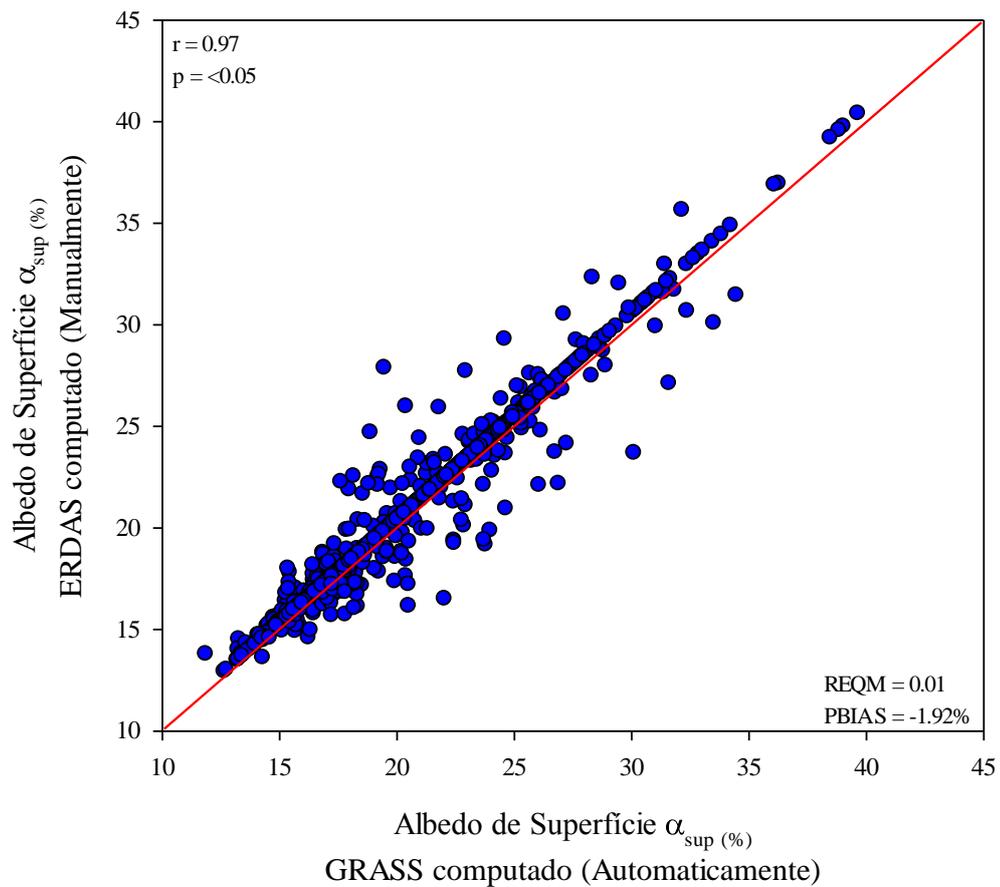
Tabela 7 - Dados comparativos do Albedo Obtido de Forma Manual e Automatizada

	<b>Albedo computado Manualmente</b>	<b>Albedo computado Automaticamente</b>
<b>ÁGUA</b>	4,8%	4,5%
<b>Caatinga</b>	13,7%	13,2%
<b>Solo Exposto</b>	46,6%	43,3%
<b>Agricultura Irrigada</b>	18,3%	17,6%
<b>Área Construída</b>	24,8%	23,9%

Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 11 a correlação entre as Estimativas do Albedo de Superfície ( $\alpha_{sup}$ ), realizada no *software* ERDAS de forma manual e, no *software* GRASS GIS, realizado de forma automática, podendo então identificar se há proximidade e relação entre as estimativas.

Figura 11 – Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Albedo de Superfície ( $\alpha_{sup}$ )



Observou-se na Figura 11 que o Albedo de Superfície geradas de forma manual e automatizada, apresentaram grande similaridade, onde o coeficiente de correlação - r foi de 0,97, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REQM), qual seja, 0,01, indicando uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). Também foram aplicados testes com o PBIAS, tendo-se resultados a superestimativa de -1,92%, indicando valores subestimativa do GRAS em relação ao ERDAS.

#### 4.1.5 Mapas das Estimativas Manual e Automatizada da Temperatura de Superfície

Com os alvos fixos, já descritos anteriormente, pode-se identificar então ao lado esquerdo a estimativa manual, ao lado direito da imagem, encontramos a carta da Temperatura de Superfície realizado de forma automatizada, como podemos aferir na Figura 12.

Para a área classificada como corpos hídricos “Água”, foi verificado uma temperatura de 27°C para a carta de temperatura computada manualmente. Já para a Temperatura da Superfície computada de forma automática, foi identificado uma Temperatura de 28°C, percebendo-se uma variação de aproximadamente de 1°C para a região do pixel. Alves *et al.* (2017), encontraram temperaturas de 24,85°C no Rio Pajeú-PE. Gomes *et al.* (2009), realizam estudos no Estado de São Paulo, aplicando o SEBAL em duas áreas distintas do estado paulista, obtendo portanto, valores de Temperaturas da Superfície de 17,9 a 25,4°C para Lagoa do Cortado – SP, corroborando com temperaturas desta pesquisa. Costa *et al.* (2019), encontraram Temperaturas em torno de 16,35°C para áreas de corpos hídricos, onde os mesmos realizam estudos no estado de Minas Gerais. Uda *et al.* (2013), encontraram temperatura de 21,85°C, para corpos d’água, na bacia hidrográfica do Alto Rio Negro – SC/PR. Atasevera *et al.* (2013), encontraram temperaturas em torno de 26,86°C para corpos hídricos, em Adana, uma área localizada no sul da Turquia, corroborando com esta pesquisa.

Vale salientar, que as temperaturas encontradas em áreas vegetadas, tendem a serem mais amenas e/ou próximas as já registradas nas áreas de corpos hídricos. Portanto, para as áreas de Caatinga, vegetação nativa do Sertão Pernambucano, foram encontradas temperaturas de 29°C tanto para as estimativas realizadas de forma manual, quanto para as estimativas realizadas de forma automatizada. Uda *et al.* (2013), identificaram temperatura médias de 19,85°C para áreas de vegetação nativa. Furlan *et al.* (2011), identificaram que as temperaturas da superfície adquiridas na bacia do rio Ji-Paraná no Estado de Rondônia, Norte do Brasil onde realizaram estudos com dois períodos distintos, sendo eles 1984 e 2010, identificaram temperaturas de 21 a 27°C para áreas de Floresta Amazônica “vegetação nativa”, respectivamente, as temperaturas encontradas em Furlan *et al.* (2011), corroboram com as temperaturas encontradas nesta pesquisa. Silva, *et al.* (2005), encontraram valores de temperatura da superfície que variaram de 33,3 a 35,7°C para área de Caatinga identificados nos anos de 2000 e 2001, respectivamente.

Para o uso da terra classificado como solo exposto, foram identificados um dos maiores valores de temperaturas da superfície localizadas na bacia analisada, valores que chegaram aos 33°C para as áreas selecionadas dentro da bacia hidrográfica, estes valores foram idênticos para

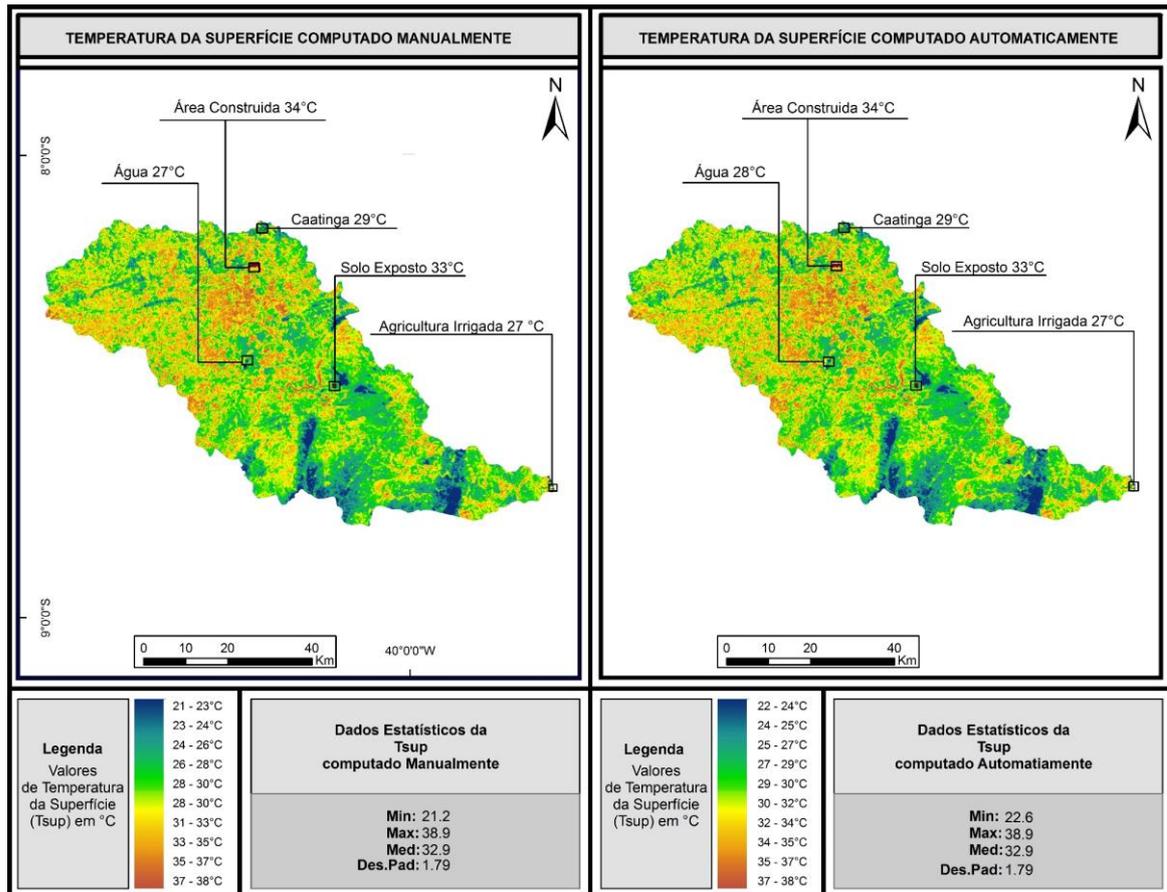
as duas estimativas realizadas, tanto na forma manual, quanto na forma automatizada. Silva, *et al.* (2005), obtiveram valores de 37,5 a 39,9°C para áreas de solo exposto, Di Pace *et al.* (2008), identificaram valores que variaram de 31,5 a 35,9°C para área também de solo exposto. Estes valores apresentados, assemelham-se aos valores encontrados nesta pesquisa.

Em relação as temperaturas mais baixas dentro da bacia hidrográfica do Garças, pode-se afirmar que, os valores de temperaturas mais baixos são dos corpos hídricos, logo em seguida, surgem as temperaturas da agricultura irrigada, que na presente pesquisa foram de 27°C, esses valores de ( $T_s$ ), são iguais, tanto na estimativa realizada de forma manual, quanto realizada de forma automatizada. Silva *et al.* (2011), identificaram temperatura que variaram de 18,75 a 21,15°C para áreas de agricultura do perímetro irrigado de São Gonçalo - PB. Para Di Pace *et al.* (2008), a temperatura do perímetro irrigado, variaram de 24,5 a 27,1°C, corroborando então, com os dados encontrados na presente pesquisa. Matos *et al.* (2015), realizaram uma análise multitemporal do Albedo, NDVI e Temperatura da Superfície no Reservatório de Itaparica - PE, onde utilizaram em suas análises, dois períodos de imageamento distinto, 1985 e 2010, os autores identificaram temperaturas de 27,5°C para área de perímetro irrigado em suas análises, corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa. Silva, *et al.* (2005), identificam valores de ( $T_s$ ) de 23,1 a 24,7°C para áreas de agricultura irrigada. Costa *et al.* (2019), observaram temperatura em torno de 16,35°C para áreas de agricultura irrigada. Cavalcante *et al.* (2016), aplicaram o algoritmo SEBAL, utilizando a linguagem de programação LEGAL, pertencente ao *software Spring*, os autores aplicaram o código no Baixo-Médio São Francisco, localizados nos Estados da BA e PE, obtendo resultados da Temperatura da Superfície que variaram de 26 a 27,5°C para áreas irrigadas, estes resultados corroboram com os resultados estimados na presente pesquisa. Gomes *et al.* (2009), encontraram temperaturas em torno de 20 a 24,1°C para áreas irrigadas no Estado de São Paulo.

Já as temperaturas mais elevadas, fora protagonizada para as áreas classificadas como áreas construída “área urbana”. As temperatura da Superfície, tanto estimadas de forma manual, quanto estimadas de forma automatizada, foram de 34°C, estes resultados estão de acordo com Oliveira *et al.* (2014b), que realizaram estudos verificando a qualidade ambiental da cidade do Recife-PE, e os mesmo identificam valores que ultrapassam os 33°C para área urbana da cidade. Santos e Lima (2018), realizam os efeitos da expansão urbana da cidade de Manaus sobre os parâmetros ambientais, e acabam constatando que com o passar dos anos, a expansão urbana levou a cidade de Manaus a ter suas temperaturas da superfície elevada, identificando então, temperaturas superiores a 33°C na área urbana. Gomes *et al.* (2013), realizam estudos no município de Patos-PB, aplicando o SEBAL, para analisar o balanço de energia e, verificaram

que a temperatura da área urbana, estava ultrapassando os 27°C para o ano de 2010. Alves *et al.* (2017), observaram temperaturas superiores a 34,77°C para áreas urbanas, concordando com os valores de temperatura da superfície desta pesquisa.

Figura 12 - Mapa da Temperatura da Superfície computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



Fonte: O autor.

Tabela 8 - Dados comparativos da Temperatura da Superfície Obtida de Forma Manual e Automatizada

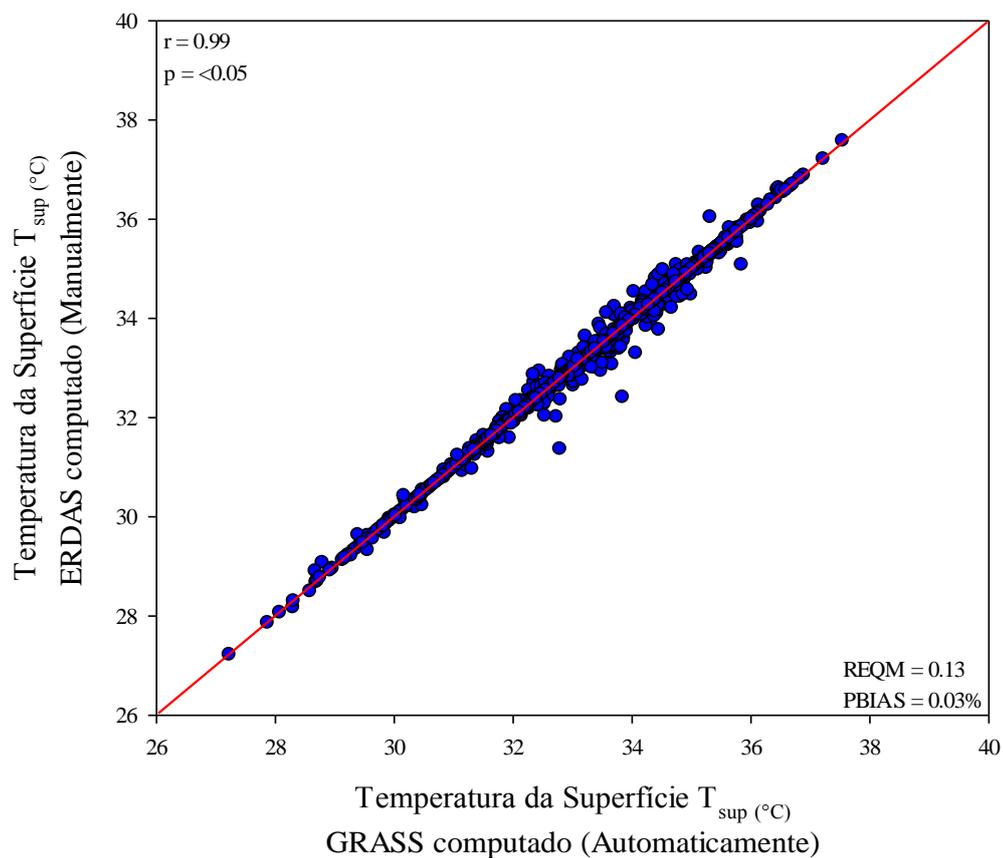
	Temperatura computado Manualmente	Temperatura computado Automaticamente	Varição da Temperatura
<b>ÁGUA</b>	27°C	28°C	~1°C
<b>Caatinga</b>	29°C	29°C	0°C
<b>Solo Exposto</b>	33°C	33°C	0°C

<b>Agricultura Irrigada</b>	27°C	27°C	0°C
<b>Área Construída</b>	34°C	34°C	0°C

Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 13 a correlação entre as Estimativas do Temperatura da Superfície ( $T_{sup}$ ), realizada no *software* ERDAS de forma manual e, no *software* GRASS GIS, realizado de forma automática, podendo então identificar se há proximidade e relação entre as estimativas.

Figura 13 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Temperatura da Superfície ( $T_{sup}$ )



Observou-se na Figura 13 que o Temperatura da Superfície geradas de forma manual e automatizada, apresentaram grande semelhança, onde o coeficiente de correlação -  $r$  foi de 0,99, indicando uma correlação muito forte entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), qual seja, 0,13, indicando uma boa estimativa do GRASS

(automático) em função ao ERDAS (manual). Também foram aplicados testes com o PBIAS, tendo-se resultados de uma leve superestimando em 0,03% os valores na forma automatizada.

#### **4.1.6 Mapas das Estimativas Manual e Automatizada do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI**

Observa-se na Figura 14, o Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada - NDVI, estimado de forma manual e automatizada e, na Tabela 9, suas respectivas diferenças. Pode-se verificar na imagem, os valores do NDVI, para áreas classificadas como copos hídricos “Água”, nessa classe, os valores encontrados foram de -0,31 para as duas estimativas, tanto para a realizada pela metodologia manual, quanto pela metodologia automatizada, os valores do NDVI, variam de -1 a 1, tendo-se os valores menores que zero, para corpos hídricos, como os reservatórios (SÁ *et al.* 2010; FERREIRA *et al.* 2012). Gomes *et al.* (2012), realizaram pesquisas em relação a Cobertura Vegetal na Microrregião do Sertão do São Francisco Alagoano, e identificaram valores abaixo de zero, para áreas aquáticas, chegando-se até -0,99. Nery *et al.* (2013), realizaram estudos em uma área de transição de biomas entre o “Cerrado” e “Caatinga”, encontrados no município de Janaúba, localizado no norte de Minas Gerais, onde realizaram uma análise comparativa entre os sensores Landsat 5 - TM e Resourcesat - LISS III, nas estimativas de índices de vegetação, como o NDVI e, identificaram que os valores dos corpos hídricos, variaram de -1 a 0, esses valores do NDVI, corroboram com os valores encontrados nesta pesquisa. Pavão *et al.* (2016), realizaram estudos em uma área do sul do Amazonas-Brasil, aplicando o algoritmo SEBAL e, identificaram valores de NDVI em torno de -0,2 para corpos hídricos nesta região. Os mesmos autores ainda enfatizam que os valores próximos de -1, representam uma melhor qualidade, profundidade e ausência de plantas aquáticas na água. Fausto *et al.* (2014), realizaram aplicações com o algoritmo SEBAL e, identificaram valores de -0,61 para áreas de corpos hídricos, localizado na Bacia do Alto Paraguai no Estado do Mato Grosso.

Já para a classe de Caatinga, foi possível identificar valores de NDVI de aproximadamente 0,32 para a estimativa realizada de forma manual, para a estimativa realizada de forma automática, foi possível identificar valores de 0,33. Esses valores, indicados pela cobertura vegetal natural da Caatinga, apresentados na presente pesquisa, são baixos, pois o período do imageamento, fora de um período seco. Silva e Galvêncio (2013), realizaram análises comparativas das respostas dos índices de vegetação NDVI e SAVI, e encontraram valores de 0,28 a 0,36, para áreas de Caatinga, localizada então, em uma área de reserva ecológica, mantida então, pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, esses valores

assemelham-se aos valores encontrados nesta pesquisa. Nery *et al.* (2013), identificaram valores de 0,55 a 0,70 vegetação nativa classificada como “vegetação esparsa”, já para as áreas nativas e preservadas, classificadas como “vegetação densa”, apresentaram valores que variaram de 0,70 a 1,0. Já Fausto *et al.* (2014), identificaram valores que variaram de 0,53 a 0,73 para áreas de vegetação nativa “Bioma Cerrado”, os autores redarguíram que devido as precipitações na região, o NDVI registrou valores elevados. Mallmann *et al.* (2015), realizaram estudos aplicando o Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, localizado no estado do Rio Grande do Sul – Brasil e, identificara valores de até 0,8 para áreas de vegetação nativa “Bioma Mata Atlântica”. Barbosa *et al.* (2017), realizam estudos com NDVI, para uma Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte, onde encontraram valores de 0,03 a 0,14 para áreas de vegetação nativa “Caatinga”.

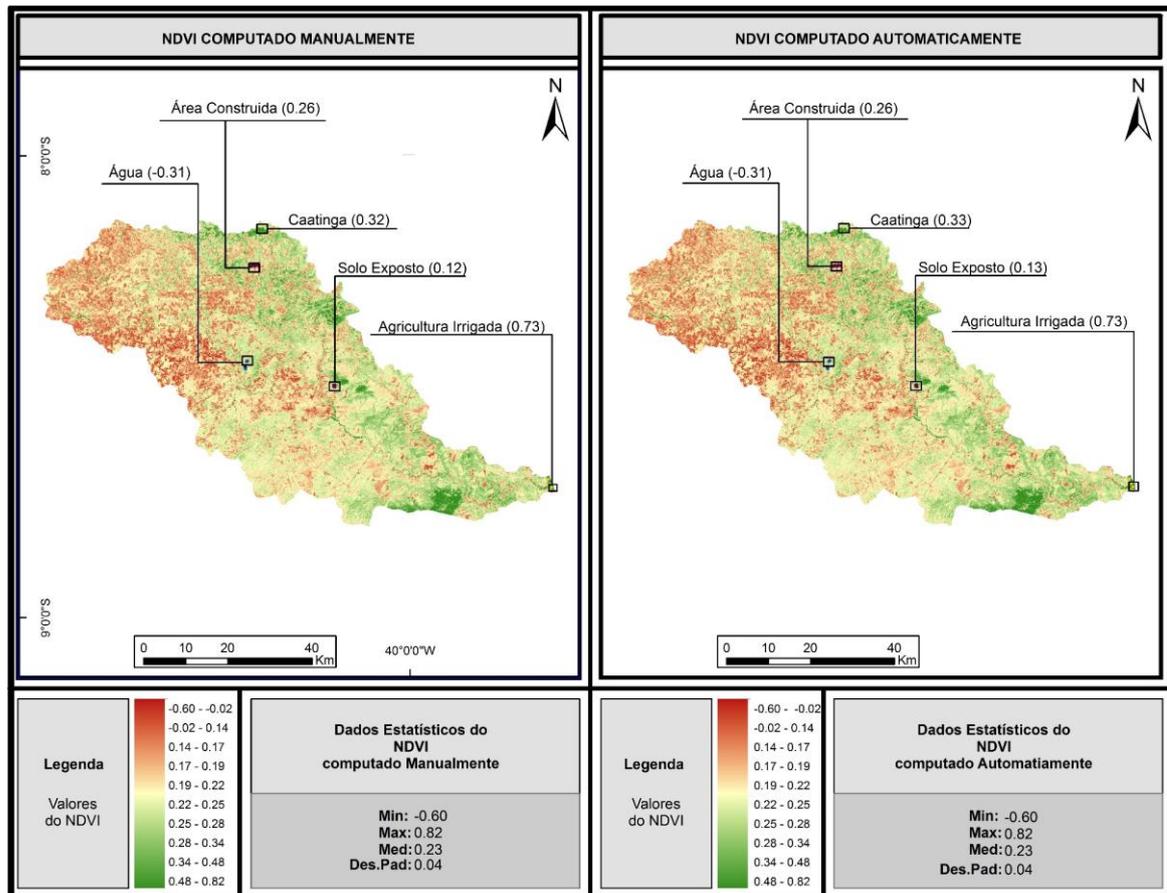
Para as áreas classificadas como solo exposto, foram encontrados valores de 0,12 para a estimativa manual, já para a estimativa automatizada, os valores foram de 0,13. Esses valores assemelham-se ao valores encontrados por Silva *et al.* (2008), que identificaram valores de solo exposto de 0,15 a 0,19. Matos *et al.* (2016), realizaram estudos com a aplicação do algoritmo SEBAL, para a realização das estimativas do Saldo de Radiação Instantâneo no entorno do Reservatório de Itaparica – PE com uso de imagens orbitais, onde encontraram valores de NDVI inferiores a 0,1 para áreas de solo expostos, tais valores corroboram com a presente pesquisa. Borges *et al.* (2010), realizaram mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos e radiação líquida em área de algodoeiro irrigado, localizado no município de Bom Jesus da Lapa no Estado da Bahia, onde encontraram valores de NDVI inferiores a 0,2 para áreas de solo exposto, resultados semelhantes aos de Silva, *et al.* (2005), que obtiveram valores de 0,17 a 0,17 para áreas com solo exposto. Gomes *et al.* (2012), encontraram valores que variaram de 0,01 a 0,10 para áreas de solo exposto, corroborando com aos valores encontrados na presente pesquisa.

Já para as áreas de agricultura os valores de NDVI são mais elevados, nesta perspectiva, foram identificados valores de 0,73 tanto para a estimativa manual, quanto para a estimativa realizada de forma automatizada, esses valores, representam áreas de agricultura irrigada presentes na bacia hidrográfica analisada. Os valores elevados, encontrados na agricultura irrigada pode ser devido ao expressivo consumo da água das chuvas pela agricultura ou, neste caso, pela regularidade da irrigação que ocorre diariamente (TEIXEIRA *et al.* 2017). Os valores encontrados nesta pesquisa assemelham-se aos de Teixeira *et al.* (2017), que em pesquisas sobre

o balanço de radiação e energia no município de Petrolina-PE, encontraram valores do NDVI de até 0,80 para áreas de agricultura irrigada. Filgueiras *et al.* (2019), realizaram estudos com NDVI em região onde abrange os estados do Maranhão, Tocantins, Piau e Bahia, os autores realizam modelagem do NDVI, para otimizar a produção agrícola e diminuir as perdas de produção, os autores identificaram valores de NDVI de até 1 para áreas agrícolas.

Para as áreas construída “áreas urbanas” os valores de NDVI são mais baixos, nesta pesquisa os valores encontrados foram de 0,26 tanto para as estimativas fomentadas de forma manual quanto para as estimativas realizadas de forma automatizada. Valores semelhantes foram observados em Matos *et al.* (2016), encontraram valores para áreas urbanas de Petrolândia-PE que variaram de 0,10 a 0,30. Alves *et al.* (2017), encontraram valores de 0,19 para áreas urbanas, corroborando com os resultados da presente pesquisa. Já SÁ *et al.* (2008), realizaram estudos usando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para Caracterização da Cobertura Vegetal da Região do Araripe Pernambucano, onde identificaram valores semelhantes a esta pesquisa, valores de 0,23 para área urbana de Trindade-PE. Teramoto *et al.* (2018), realizaram uma série temporal do Índice NDVI na Avaliação do Comportamento Sazonal do Aquífero Rio Claro – SP, onde verificaram valores abaixo de 0,20 para áreas urbanas, esses valores corroboram com os valores encontrados nesta pesquisa e os valores encontrados em (SÁ *et al.* 2008). Moreira *et al.* (2017), realizaram estudos com o auxílio do modelo SEBAL para estudos de clima intraurbano, aplicando-os em Recife, Pernambuco, Brasil, com o algoritmo observaram valores de NDVI que variaram de 0,10 a 0,20 para áreas urbanas. Demarchi *et al.* (2011), realizaram uma análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP, onde a resposta do NDVI para áreas urbanas ficaram entre 0 a 0,10.

Figura 14 - Mapa do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).



Fonte: O autor.

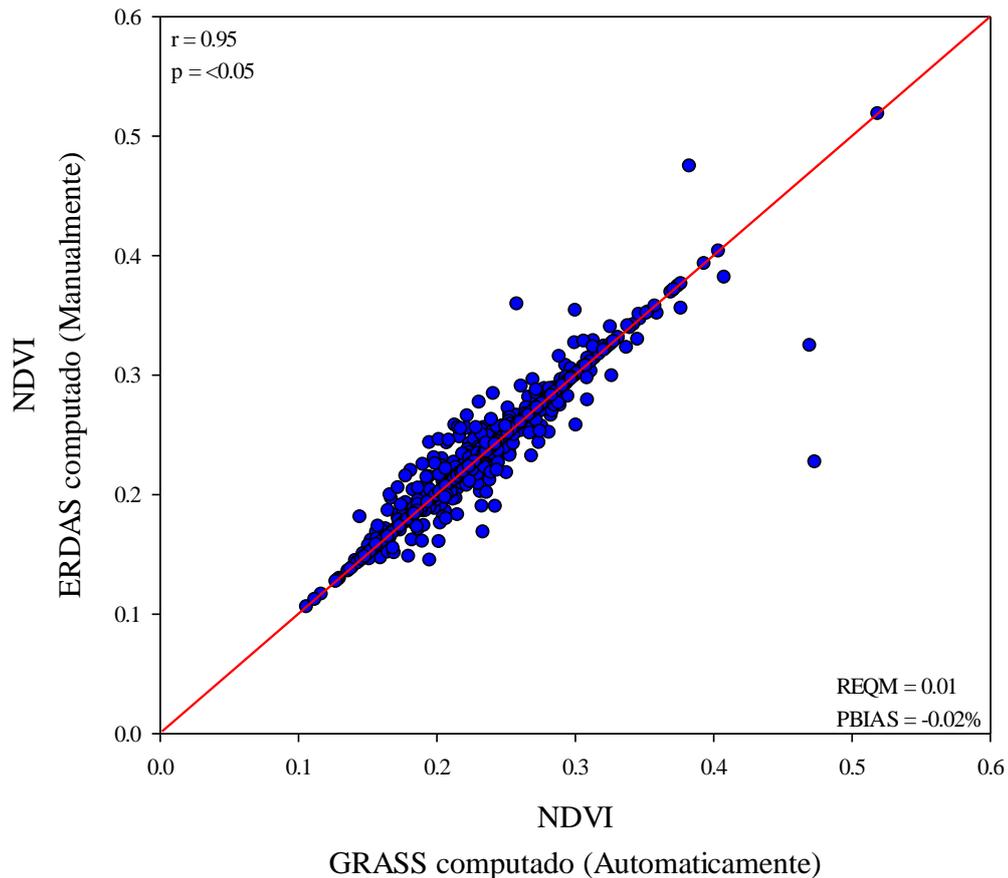
Tabela 9 - Dados comparativos do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, Obtida de Forma Manual e Automatizada

	NDVI computado Manualmente	NDVI computado Automaticamente	Varição dos Valores de NDVI
<b>ÁGUA</b>	-0,31	-0,31	0
<b>Caatinga</b>	0,32	0,33	0,01
<b>Solo Exposto</b>	0,12	0,13	0,01
<b>Agricultura Irrigada</b>	0,73	0,73	0
<b>Área Construída</b>	0,26	0,26	0

Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 15 a correlação entre as Estimativas do NDVI, realizada no *software* ERDAS de forma manual e, no *software* GRASS GIS, realizado de forma automática, podendo então identificar se houve uma correlação satisfatória entre as estimativas.

Figura 15 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI)



Observou-se na Figura 15 que o NDVI gerado de forma manual e automatizada, apresentaram uma forte correlação, onde o coeficiente de correlação - r foi de 0,95, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REQM), qual seja, 0,01, indicando uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). Também foram aplicados testes com o PBIAS, resultando em uma leve subestimativa do GRASS “automático” de -0,02%.

#### 4.1.7 Mapas das Estimativas Manual e Automatizada do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI

Os valores do SAVI, encontrados nas estimativas realizadas tanto na forma manual, quanto para a automatizada do SAVI, foram de -0,13 para os corpos hídricos “Água”, onde pode-se verificar na Figura 16 e Tabela 10. Pesquisas como a de Uda *et al.* (2013), tiveram valores médios de 0,05 do índice SAVI para a classe de corpos hídricos. Já para Gomes *et al.* (2012), os valores para os corpos hídricos, são registrados por valores abaixo de 0, assemelhando-os aos resultados identificados nesta pesquisa. Braz *et al.* (2015), encontraram valores próximos a presente pesquisa, foram valores entorno de -0,59 para os corpos hídricos na bacia hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, município de Selvíria – MS.

Já para as áreas de Caatinga “Vegetação Nativa”, foram os valores do SAVI foram de 0,25 para a estimativa realizada de forma manual, para a forma automatizada, esses valores foram de 0,26. Pesquisas como a de Fausto *et al.* (2014), os valores da vegetação nativa “Cerrado”, apresentaram médias de 0,49. Já Pavão *et al.* (2016), identificaram valores acima de 0,70 para áreas de vegetação nativa “floresta amazônica”, identificando valores superiores ao encontrados na presente pesquisa. Braz *et al.* (2015), obtiveram valores que se intercalaram entre 0,55 a 1,49 em áreas de Vegetação Nativa “Mata Atlântica”. Oliveira (2013), fomentou sua pesquisa utilizando os índices de vegetação (NDVI, SAVI, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da reserva biológica de Saltinho, Pernambuco, onde a autora identificou valores de SAVI acima de 0,61 para áreas nativas “Mata Atlântica”. Rêgo *et al.* (2012), realizaram uma Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB, onde identificaram valores do SAVI que chegaram até 0,80 para áreas nativas “Caatinga”. Os valores elevados do SAVI, que os pesquisadores identificaram na Caatinga, podem ser explicados devido a aquisição das imagens no período chuvoso do semiárido. Silva *et al.* (2013), realizaram uma Análise espaço-temporal do SAVI e da temperatura da superfície no município de Serra Talhada – PE, onde identificaram valores de 0,10 a 0,25 para as áreas de Vegetação Nativa “Caatinga”, esses valores são semelhantes aos valores encontrados na presente pesquisa.

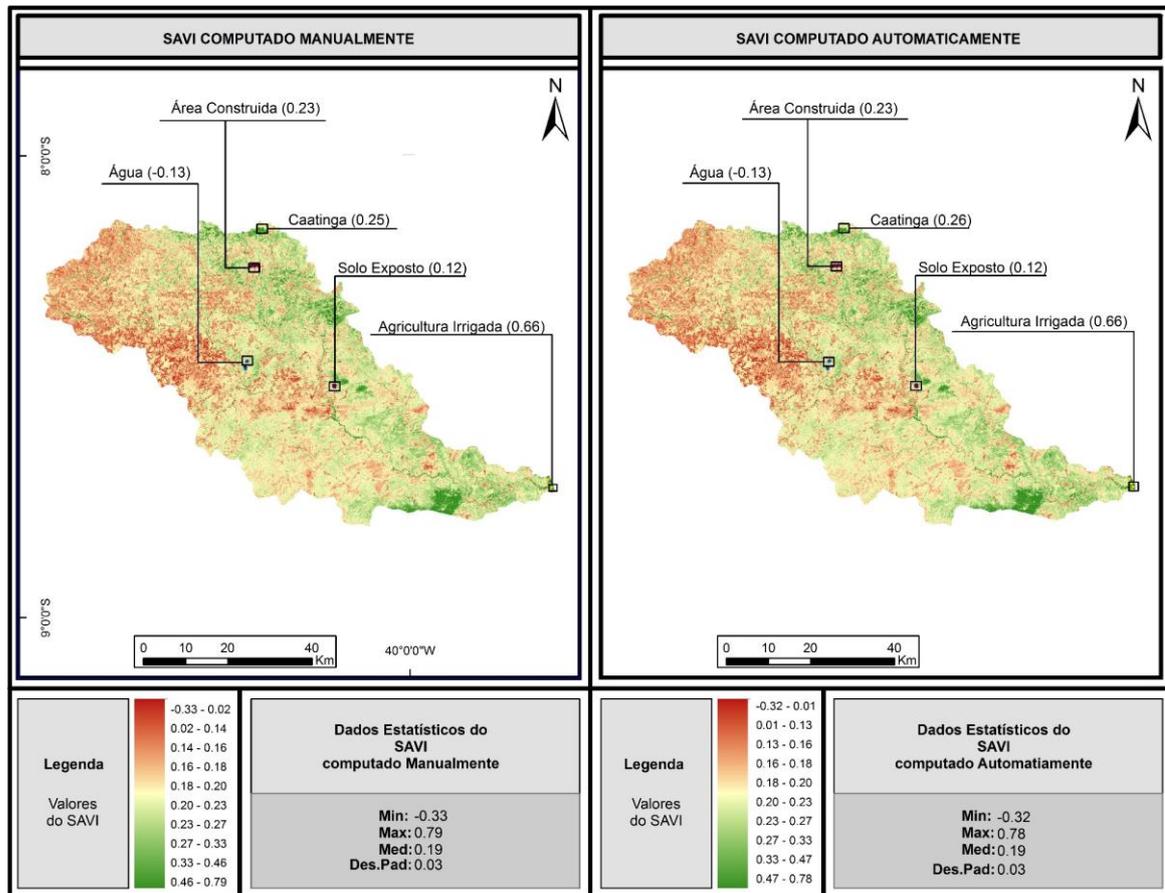
Para as áreas de Solo Exposto, tem-se valores do SAVI relativamente baixos, os valores estimados nesta pesquisa para o solo exposto foram de 0,12 tanto para as estimativas realizadas manualmente quanto para as estimativas realizadas de forma automática. Os valores encontrados por Costa *et al.* (2019), ficaram entre os valores de 0,0 para áreas de solo exposto. Já Uda *et al.* (2013), obtiveram valores mínimo, máximo e médio de SAVI em áreas de solo exposto, entorno de 0,02; 0,63 e 0,22, respectivamente. Silva *et al.* (2013), identificaram valores

em torno de 0,20 a 0,25 para áreas de solo exposto. Braz *et al.* (2015), obtiveram valores elevado para áreas de solo exposto, os valores foram aderidos a uma classe que se intercalaram-se entre -0,59 a 0,30. Gomes *et al.* (2012), obtiveram valores que intercalaram entre 0,0 a 0,2 para áreas de solo exposto, esses resultados corroboram a presente pesquisa. Alves e Azevedo (2015), realizaram uma análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba, no Estado da Paraíba-Brasil, os autores identificaram valores de 0,0 a 0,16 para áreas de solo exposto com SAVI, esses valores possuem uma aproximação considerável em relação aos valores encontrados nesta pesquisa.

Para as áreas de Agricultura Irrigada, foram identificados valores de 0,66 para o índice SAVI, esses valores foram idênticos tanto para as estimativas realizadas de forma manual, quanto para a forma automatizada. Uda *et al.* (2013), obtiveram valores médios para agricultura em torno de 0,57. Esses valores estão próximos aos valores estimados nesta pesquisa. Costa *et al.* (2019), identificaram valores máximos de SAVI para áreas de agricultura em torno de 0,83. Já Silva *et al.* (2013), tiveram valores apenas acima de 0,35 para áreas de agricultura. Cruz *et al.* (2011), ao realizarem suas pesquisas sobre a avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe, identificaram valores de SAVI que intercalaram-se entre 0,38 a 0,45 para áreas de agricultura, a classificação da agricultura em sua classificação fora denominada de “Vegetação Esparsa”, que correspondem as áreas de agricultura.

Em Áreas Construídas, os valores do SAVI são baixos, indicando um baixo teor de vegetação. Nesta pesquisa os valores ficaram em torno dos 0,23 para as estimativas realizadas tanto para a forma manual, quanto para a forma automatizada. Os valores apresentados nesta pesquisa ficaram próximos aos valores da classe “Caatinga”. Uda *et al.* (2013), identificaram valores médios do SAVI em torno dos 0,20 para áreas urbanas “Cidade”, esses valores são próximos aos valores encontrados nesta pesquisa, corroborando então os valores encontrados nas estimativas. Pavão *et al.* (2016), identificaram valores em torno de 0,30 a 0,40 para alvos de área urbana “Cidade”. Oliveira (2013), identificou valores entre 0,21 a 0,30 para áreas edificadas, solos expostos e estradas, esses valores estão de acordo com os valores identificados para as áreas urbanas na presente pesquisa.

Figura 16 - Mapa do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



Fonte: O autor.

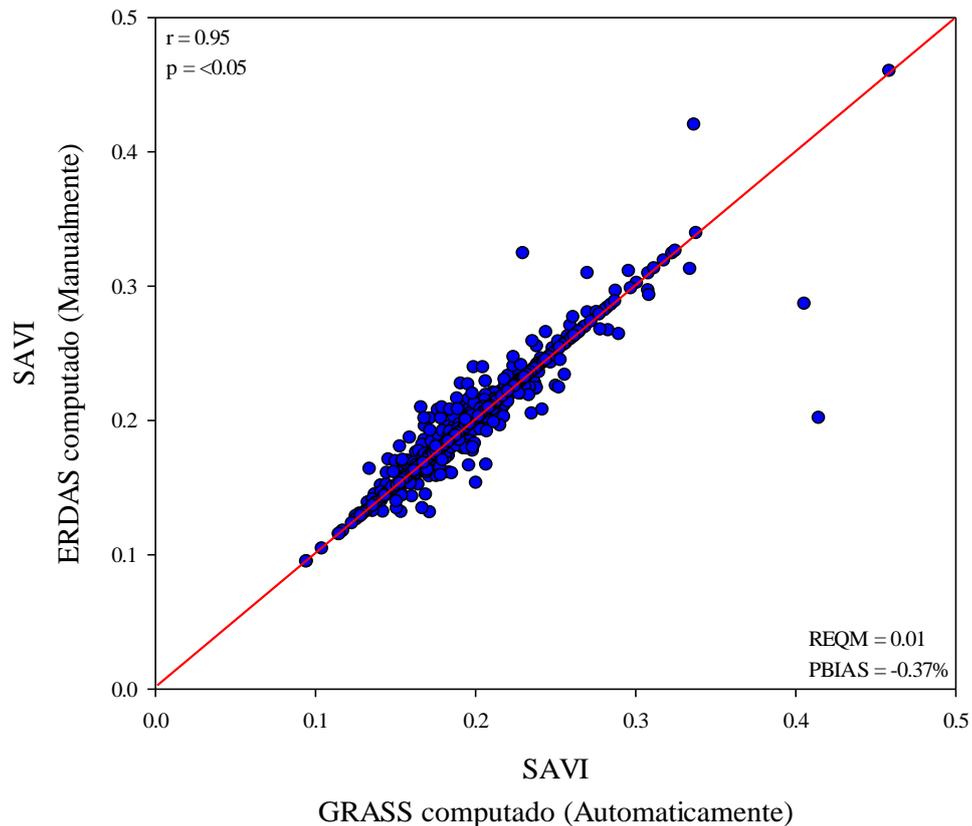
Tabela 10 - Dados comparativos do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Obtida de Forma Manual e Automatizada

	SAVI computado Manualmente	SAVI computado Automaticamente	Varição dos Valores do SAVI
ÁGUA	-0,13	-0,13	0
Caatinga	0,25	0,26	0,01
Solo Exposto	0,12	0,12	0,01
Agricultura Irrigada	0,66	0,66	0
Área Construída	0,23	0,23	0

Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 17 a correlação entre as Estimativas do SAVI, realizada no *software* ERDAS de forma manual e, no *software* GRASS GIS, realizado de forma automática, podendo então identificar se houve uma correlação satisfatória entre as estimativas.

Figura 17 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do SAVI



Observou-se na Figura 17 que o SAVI gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação -  $r$  de 0,95, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REM), qual seja, 0,01, indicando uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). Também foram aplicados testes com o PBIAS, tendo-se resultados -0,02%, indicando uma leve subestimativa do GRASS automático.

#### 4.1.8 Mapas das Estimativas Manual e Automatizada do IAF

Os valores do IAF, encontrados nas estimativas realizadas tanto na forma manual, quanto para a automatizada do IAF, foram de 0,00 para os corpos hídricos “Água”, onde pode-se verificar na Figura 18 e Tabela 11. Os valores do Índice de Área Foliar estão em consonância com a literatura, valores semelhantes foram encontrados em Oliveira *et al.* (2014b), onde realizaram uma análise da variação espaço-temporal das áreas verdes e da qualidade ambiental em áreas urbanas, na cidade de Recife-PE. Valores igual a 0 “zero”, podem ser observados em Oliveira *et al.* (2011), em uma avaliação espaço-temporal do índice de área foliar e impacto das atividades antrópicas na Reserva Ecológica Estadual Mata São João da Várzea, na cidade de Recife - PE. Foram verificados valores igual a zero do IAF, para áreas de corpus hídricos em Costa *et al.* (2019), corroborando então, com a presente pesquisa e todas as outras citadas anteriormente, legitimando os resultados encontrados.

O Índice de Área Foliar - IAF para as áreas de Caatinga foram baixos, isso é explicado devido ao período seco da aquisição da imagem, repercutindo diretamente na densidade da biomassa encontrada nas áreas de vegetação nativa “Caatinga”. Os valores encontrados do IAF para áreas de vegetação nativa “Caatinga”, foram de 0,32 para as estimativas realizadas de forma manual, para as estimativas realizadas automaticamente esses valores foram de 0,36. Wanderley *et al.* (2017), em estudos aplicados a Variação dos Índices de Vegetação da Caatinga no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, localizado no Estado da Paraíba, identificaram áreas de Caatinga na classe de valores de 0,28, esses valores foram identificados em período seco, no ano de 2016. Os valores do IAF para o período seco, são valores semelhantes aos identificados nesta pesquisa, autores como Carvalho *et al.* (2017), refutam que na região semiárida brasileira, os valores de IAF baixos, são características do semiárido e sua vegetação, no entanto, valores identificados razoavelmente elevados em pesquisas, podem ser um indicativo de ocorrência de precipitação que antecedem o imageamento da área analisada. Souza *et al.* (2015), afirmaram que os valores elevados do índice de área foliar, são possíveis graças as precipitações que ocorreram na região semiárida antes da aquisição dos dados, visto que em períodos sem as precipitações, os índices do IAF são comumente baixos. Oliveira (2013), identificou valores que se intercalaram entre 0,61 a 1,0 para áreas com fragmentos florestais, estes valores apresentam-se razoavelmente elevados devidos ao seu bioma “Mata Atlântica”. Ivo *et al.* (2018), realizaram estudos sobre a influência do desmatamento no índice de área foliar e temperatura da superfície no Cerrado Mato-Grossense, e identificaram valores de IAF para a vegetação nativa “Cerrado” que variaram de 1,0 a 2,0 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, para o período seco.

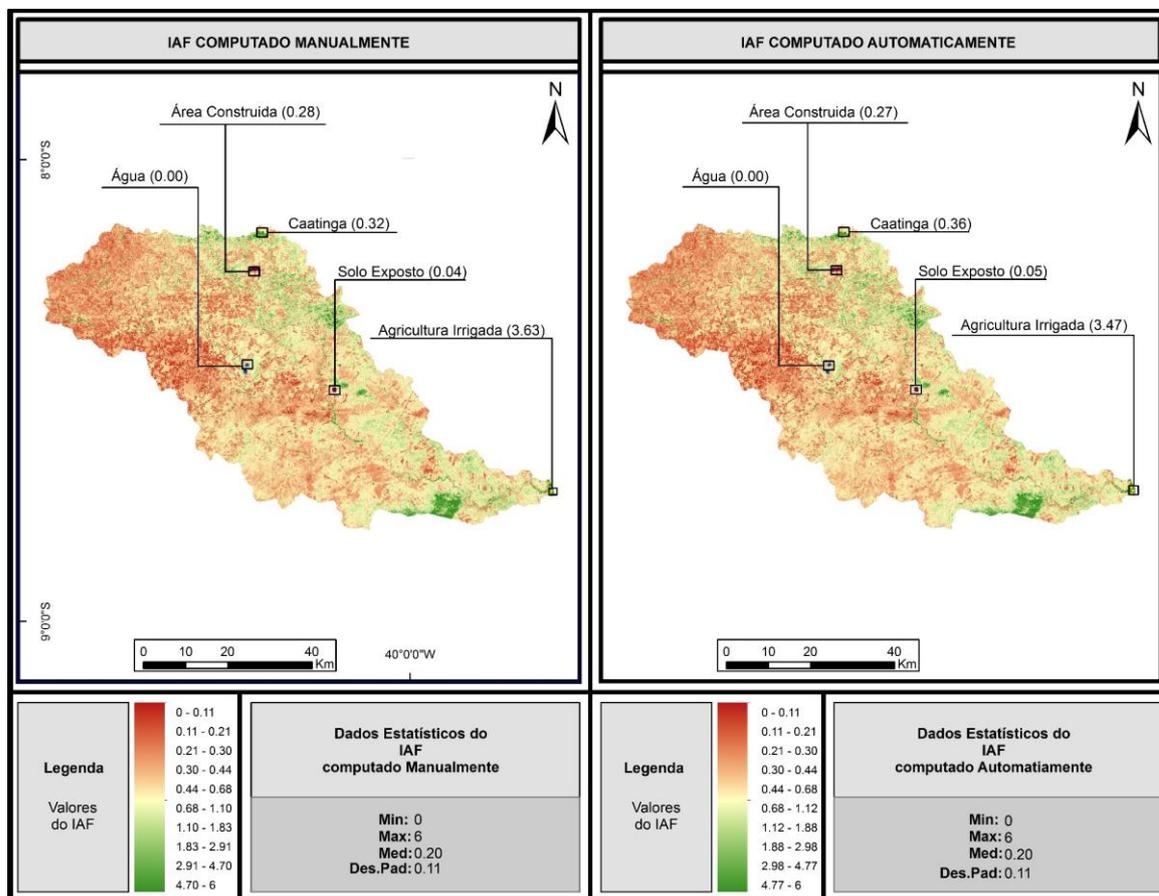
Já para a classe de solo exposto, pode-se identificar áreas com valores próximos a 0,0. Os valores encontrados nesta pesquisa foram de 0,04 para a estimativa realizada de forma manual, para a estimativa automatizada esses valores foram de 0,05. Esses valores indicam a ausência de qualquer cobertura vegetal. Valores semelhantes de IAF para áreas de solo exposto, podem ser encontrados em Beg *et al.* (2016), onde os autores realizaram aplicações do algoritmo SEBAL para, estimar a evapotranspiração no meio leste Europeu, em uma região montanhosa, mais precisamente em uma área de fronteira entre o sul da Polônia e o norte da Eslováquia e, identificaram valores de IAF próximos à zero, onde as áreas de solo exposto obtiveram valores de 0,006. Oliveira *et al.* (2014b), também relata que identificou valores próximos a 0,0 para áreas de solo exposto na cidade de Recife-PE, corroborando com os dados da presente pesquisa.

Para as áreas de agricultura irrigada, os valores de IAF foram de 3,63 para as estimativas realizadas de forma manual, para as estimativas realizadas automaticamente, esses valores foram de 3,47 para as áreas irrigada, esses valores elevados, podem ser explicados devido a irrigação contínua das áreas de agricultura, elevando então a biomassa. Essas áreas estão localizadas próximo ao leito do Rio São Francisco, permitindo então a irrigação perene. Ivo *et al.* (2018), identificaram valores de IAF para uma área de plantio de soja, que variaram de 0-1 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> para período seco e, sem irrigação, já para o período chuvoso a cultura passa para a classe de 2 a 3 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Silva *et al.* (2013a) ao realizarem estudos sobre a Sazonalidade do Controle de Evapotranspiração pela Cana-de-Açúcar Irrigada e Características Aerodinâmicas da Cultura no Semiárido brasileiro, mais precisamente no município de Petrolina-PE, identificaram valores de IAF > 5,0 para áreas de agricultura irrigada, esses valores elevados são possíveis graças ao sistema de irrigação eficiente. Pesquisadores como Souza *et al.* (2014), ao realizar estudo sobre Crescimento e Produtividade do Milho e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas e Disponibilidade Hídrica no Semiárido de Pernambuco, identificaram valores de IAF para áreas de cultura de milho entre 2,44 e 2,95 para cultura de milho e, para culturas de feijão, encontraram valores de 2,93 a 4,77, valores elevados devido ao perímetro irrigado do município de Petrolina-PE.

Já os valores de IAF para áreas construídas são baixos, diferentemente das áreas de agricultura. Os valores encontrados para áreas construídas foram de 0,28 para as estimativas realizadas manualmente e, 0,27 para estimativas realizadas automaticamente, onde pode-se verificar na Figura 19, o comportamento dos índices de vegetação em relação aos diferentes usos e ocupação da terra. De acordo com Oliveira *et al.* (2014b), áreas construídas bem consolidadas como grandes cidades, apresentam valores de IAF < 0,10, já para áreas em

consolidação, que é este caso do município de Santa Cruz no Sertão de Pernambuco, os valores podem intercalar entre 0,11 a 0,40.

Figura 18 - Mapa do Índice de Área Foliar - IAF, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).



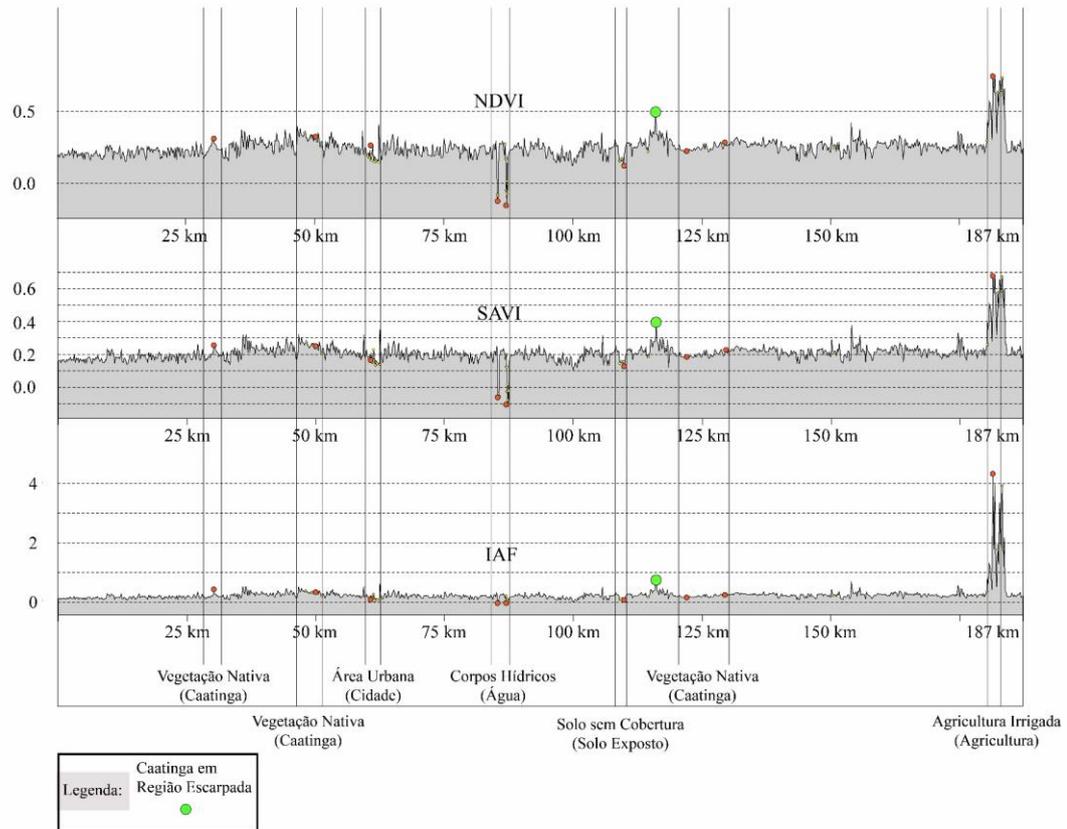
Fonte: O autor.

Tabela 11 - Dados comparativos do Índice de Área Foliar – IAF, obtida de Forma Manual e Automatizada

	IAF computado Manualmente	IAF computado Automaticamente	Varição dos Valores do IAF
<b>ÁGUA</b>	0,00	0,00	0
<b>Caatinga</b>	0,32	0,36	0,04
<b>Solo Exposto</b>	0,04	0,05	0,01
<b>Agricultura Irrigada</b>	3,63	3,47	0,16
<b>Área Construída</b>	0,28	0,27	0,01

Fonte: O autor.

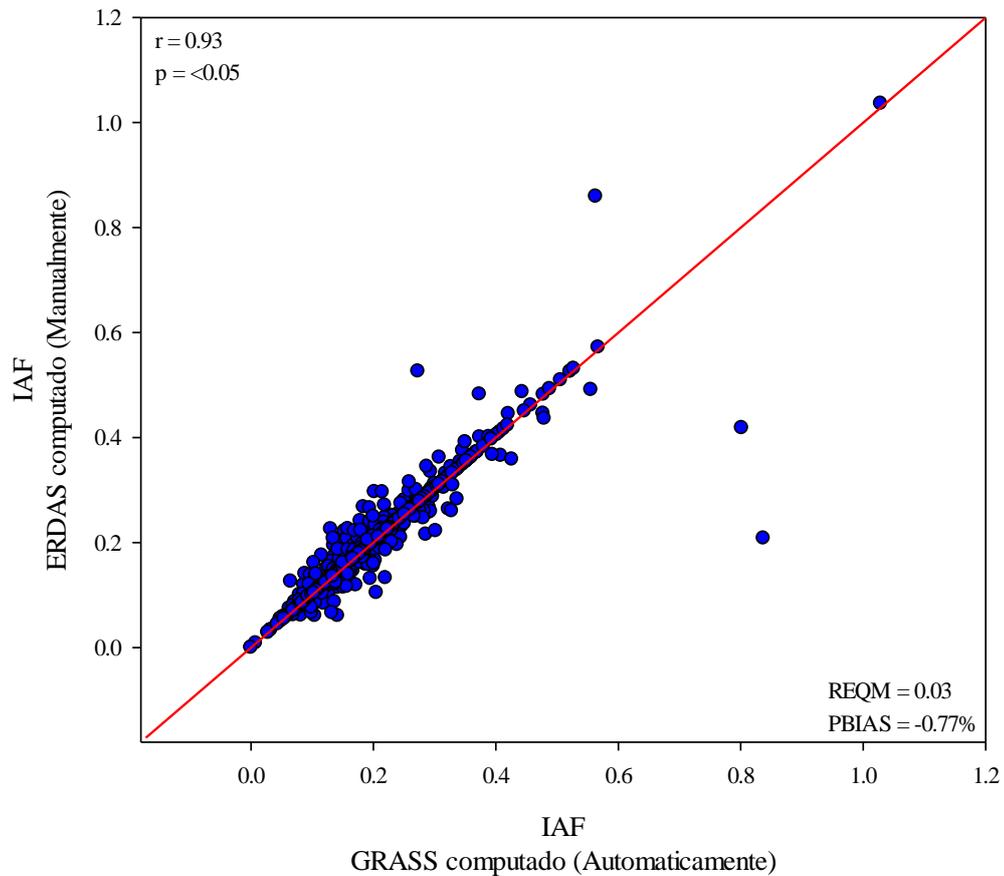
Figura 19 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra, em relação aos três índices de vegetação, NDVI, SAVI e IAF



Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 19 a correlação entre as Estimativas do IAF, realizada no *software* ERDAS de forma manual e, no *software* GRASS GIS, realizado de forma automática, podendo então identificar se houve uma correlação satisfatória entre as estimativas.

Figura 20 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do IAF



Observou-se na Figura 20 que o IAF gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação - r de 0,93, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REM), qual seja, 0,03, indicando uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). Os testes com o PBIAS, que identificam em porcentagem, uma subestimativa de -0,77%, do IAF estimado automaticamente.

#### 4.1.9 Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Saldo de Radiação (Rn)

Os valores do Rn, encontrado para a estimativa realizada manualmente, foi de 705 Wm<sup>2</sup> para a classe de “Água”, representando os corpos hídricos encontrados na bacia em estudo. Já para a estimativa realizada de forma automática, esses valores foram de 714 Wm<sup>2</sup>, onde pode-se observar na Figura 21 e Tabela 12. De acordo com Rodrigues *et al.* (2009), os maiores valores de Rn, apresentam-se em corpos hídricos devido ao menores valores do albedo e, a elevada capacidade de armazenar energia. Os autores, realizam estudos sobre a sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto, encontrando valores para os corpos hídricos que intercalaram entre 735 a 810 Wm<sup>2</sup>. Já Beg *et al.* (2016), ao realizarem o balanço de energia pra uma região fronteira da Polônia com a Eslováquia, identificaram valores médios de 569,4 Wm<sup>2</sup> para área de corpos hídricos. Silva *et al.* (2011), identificaram valores para o Açude de São Gonçalo-PB, que se intercalaram entre 748,8 a 812,9 Wm<sup>2</sup>, ondes os mesmos afirmam que os valores elevados ocorrem devido aos baixos valores do Albedo ( $\alpha$ ) e da Temperatura da Superfície (Ts). Silva *et al.* (2017), ao realizarem estudos sobre a variabilidade espaço-temporal de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração por sensoriamento remoto em região semiárida, no estado do Ceará, identificaram valores na ordem de 725 Wm<sup>2</sup> para áreas de corpos hídricos, corroborando com os valores Rn encontrados nesta pesquisa. Gomes *et al.* (2013), ao realizarem estudos sobre balanço de energia à superfície para a cidade de Patos - PB aplicando o algoritmo SEBAL e, usando técnicas de sensoriamento remoto, identificaram os maiores valores de Rn, para áreas de corpos hídricos, identificado como reservatório na cidade de Patos-PB, com valores máximos de 717 Wm<sup>2</sup>, esses valores estão em consonância aos valores identificados na presente pesquisa. Silva *et al.* (2005), ao realizarem aplicação do algoritmo SEBAL, identificaram valores de Rn, que ficou em torno de 750 Wm<sup>2</sup> para o lago de Sobradinho no estado da Bahia. De acordo com os autores, os valores elevados de Rn, indicam valores baixos do Albedo ( $\alpha$ ) e a alta absorção radiativa do Lago de Sobradinho. Santos *et al.* (2010), realizaram estudos sobre a avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER, e identificaram valores que intercalaram-se entre 716 a 807,24 Wm<sup>2</sup> para corpos hídricos, no interior do Rio Grande do Sul. Silva *et al.* (2015), ao realizarem a determinação de temperatura da superfície e estimativa do saldo de radiação e evapotranspiração usando imagens Landsat e dados observados no Estado da Paraíba, identificaram os menores valores de Rn, para áreas de corpos hídricos, que tiveram médias de 817,85 Wm<sup>2</sup> na bacia do São João do Cariri-PB.

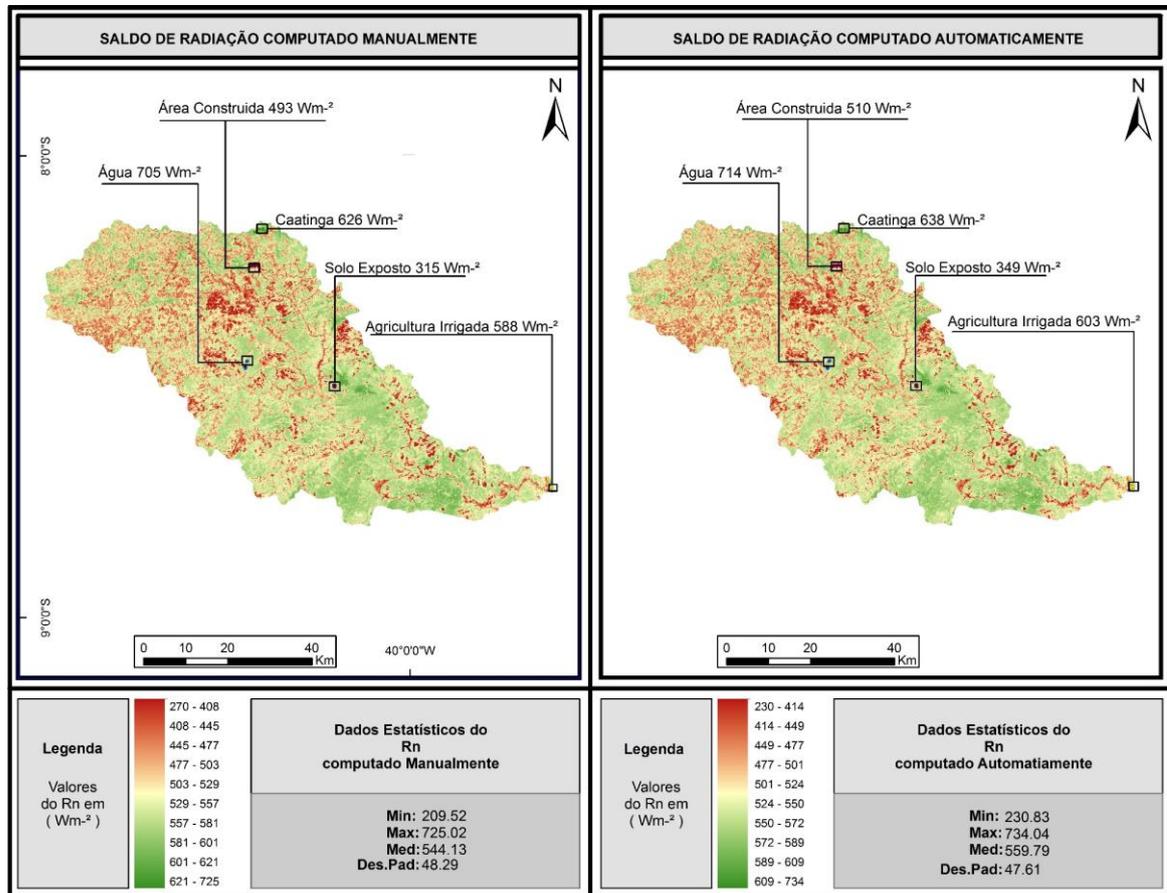
Já para áreas de vegetação nativa “Caatinga”, foram identificados valores de  $626 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada manualmente e,  $638 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada de forma automatizada. Estudos como o de Silva *et al.* (2005), identificaram valores que intercalaram entre  $618,7$  a  $621,1 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de Caatinga no semiárido brasileiro. Esses valores corroboram com os valores encontrados na presente pesquisa. Alves *et al.* (2017), ao aplicar o SEBAL na bacia hidrográfica do Pajeú, identificou valores de  $513,85 \text{ Wm}^{-2}$  para a serra do Arapuá, local onde predomina o bioma Caatinga. Silva *et al.* (2016b), ao realizarem estudos sobre a estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira e, identificaram valores médios para a vegetação nativa “Floresta Amazônica” em torno de  $552,8$  a  $576,1 \text{ Wm}^{-2}$ . Beg *et al.* (2016), identificaram valores médios de  $526,2 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas florestadas na divisa da Polônia com a Eslováquia. Valores próximos aos encontrados na presente pesquisa, podem ser observados em Gomes *et al.* (2009), que ao aplicarem o algoritmo SEBAL, identificaram valores estimados de  $638,0 \text{ Wm}^{-2}$  para área de vegetação nativa “Cerrado”. Júnior *et al.* (2017), ao realizaram o balanço de energia à superfície em áreas heterogêneas através de algoritmos de sensoriamento, verificaram valores que intercalaram entre  $456,16$  a  $773,11 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de vegetação nativa “Cerrado” no estado de São Paulo. Santos *et al.* (2017), ao realizarem a obtenção de parâmetros ambientais na região semiárida da Paraíba por dados MODIS, obtiveram estimativas com valores máximos para área de vegetação nativa ‘Caatinga em Recuperação’ em torno de  $781$  a  $811 \text{ Wm}^{-2}$  e, valores mínimos de  $552$  a  $565 \text{ Wm}^{-2}$ . Já autores como Bezerra *et al.* (2008), ao realizarem o balanço de energia na Região Semiárida do Nordeste no estado do Ceará, obtiveram valores em torno de  $600 \text{ Wm}^{-2}$  para área de vegetação nativa “Caatinga”, já para a Chapada do Araripe em uma área de reserva florestal, foi possível obter valores de Caatinga acima de  $> 700 \text{ Wm}^{-2}$ .

Já o saldo de Radiação obtido para áreas de solo exposto, foi de  $315 \text{ Wm}^{-2}$  para o cômputo realizado de forma manual, já para o saldo de radiação realizado de forma automática foi de  $349 \text{ Wm}^{-2}$  para as áreas de solo exposto da bacia pesquisada. Estudos realizados no semiárido, como Silva *et al.* (2005), obtiveram valores em torno de  $426,9 \text{ Wm}^{-2}$ . Esses valores são pouco superiores ao encontrados na presente pesquisa, uma das causas podem ser a precipitação que antecederam as aquisições das imagens orbitais. Beg *et al.* (2016), obtiveram valores médios de  $416 \text{ Wm}^{-2}$  para as áreas de solo exposto, valores próximos aos de (SILVA *et al.* 2005). Andrade e Corrêa (2014), realizaram estudos sobre a estimativa do saldo de radiação instantâneo à superfície para a cidade de Santarém-PA, através de imagens do Landsat 5-TM, e identificaram valores para áreas de solo exposto em torno de  $161$  a  $471 \text{ Wm}^{-2}$ . Esses valores estão entre os valores estimados para as áreas de solo exposto.

Para as áreas de agricultura irrigada, foi possível obter valores de  $588 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada manualmente, já para as estimativas obtidas de forma automatizada, foi obtido valores de  $603 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura irrigada. Em pesquisas como as de Costa *et al.* (2019), houve valores próximos aos obtidos na presente pesquisa, os autores obtiveram valores máximos de  $598 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura irrigada no estado de Minas Gerais. Em Bezerra *et al.* (2008), é possível observar valores elevados na região de agricultura irrigada, os autores identificaram valores por volta de  $700 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas irrigadas no Semiárido. Santos *et al.* (2010), identificaram valores acima de  $703 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de cultivo de arroz no Rio Grande do Sul, os valores elevados podem ser explicados devido ao espelho d'água onde o arroz fora plantado, portando há uma leve elevação do  $R_n$ . Sá *et al.* (2016), realizaram estimativas do saldo de radiação em cultivo irrigado de cana-de-açúcar utilizando dados de sensoriamento remoto orbital e, identificaram valores estimados de  $625 \text{ Wm}^{-2}$  para um perímetro irrigado de cana-de-açúcar no Município de Juazeiro-BA, localizado no semiárido brasileiro. Pesquisas como as de Sousa *et al.* (2014), ao realizarem o balanço de radiação e energia no perímetro irrigado do município de Califórnia-SE, observaram valores que variaram de  $500$  a  $550 \text{ Wm}^{-2}$  para as áreas de agricultura irrigada, esses valores estão próximos aos estimados para a presente pesquisa.

O saldo de radiação encontrado para a classe de área urbana “área construída” foi de  $493 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada de forma manual, para a estimativa automática foi de  $510 \text{ Wm}^{-2}$ . Esses valores estão de acordo com os valores encontrado em Andrade e Corrêa (2014), que verificaram valores entre  $472$  a  $523 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanas. Pesquisas recentes como Oliveira *et al.* (2015a), realizaram o balanço de radiação por sensoriamento remoto em uma bacia hidrográfica da zona da mata do estado de Pernambuco, a bacia do Tapacurá-PE e, identificaram valores de  $R_n < 400 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanas, valores próximos ao encontrado na presente pesquisa. Lins *et al.* (2017), realizaram estudos sobre a estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto, onde o SEBAL foi aplicado no intuito de estimar a  $E_{Tr}$  para o município, destarte foi possível encontrar valores para a área urbana na classe que intercalou de  $443$  a  $485 \text{ Wm}^{-2}$  para a área urbana do município de Arcoverde-PE, esses valores estão próximos aos encontrados na presente pesquisa. Cavalcante *et al.* (2016), identificaram valores abaixo de  $542,4 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanas, corroborando com os resultados de presente pesquisa. Os mesmos relatam que maiores valores de albedo, tem como consequência um menor valor do Saldo de Radiação.

Figura 21 - Mapa da Estimativa do Saldo de Radiação (Rn), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).



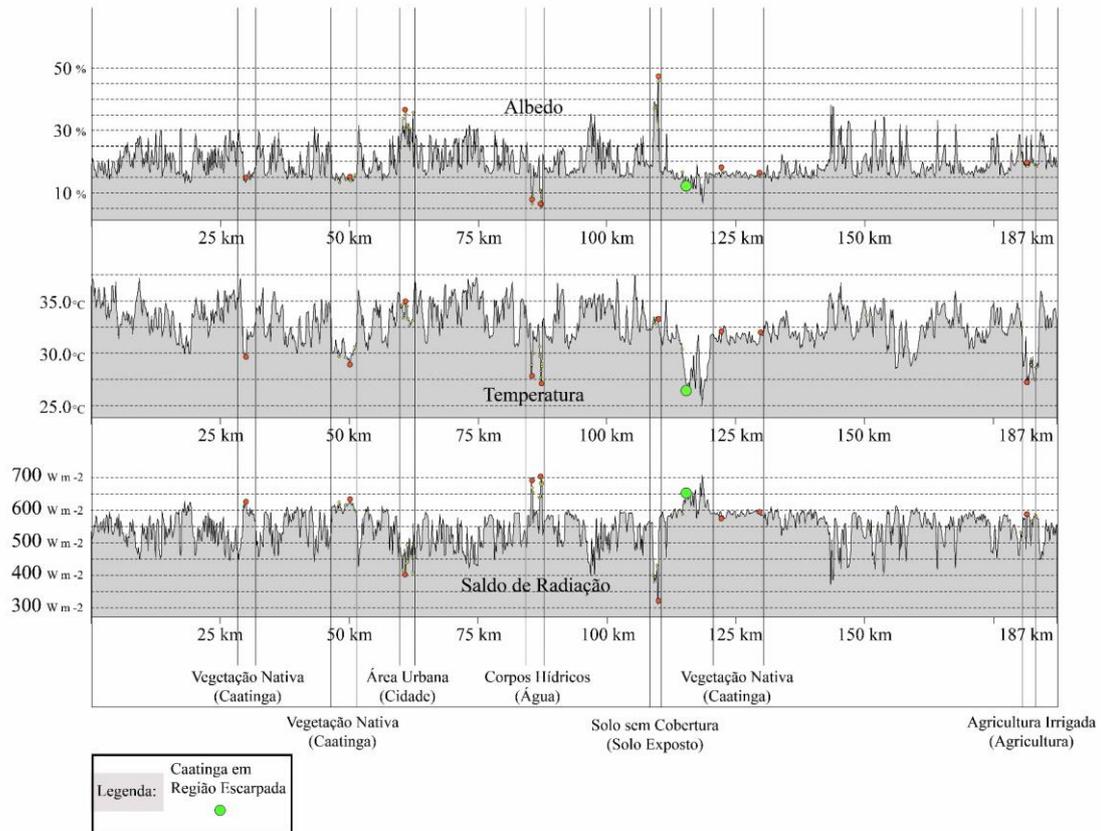
Fonte: O autor.

Tabela 12 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Saldo de Radiação Obtido de Forma Manual e Automatizada.

	Saldo de Radiação computado Manualmente	Saldo de Radiação computado automaticamente	Varição do Saldo de Radiação (Rn)
Água	705 Wm <sup>-2</sup>	714 Wm <sup>-2</sup>	9 Wm <sup>-2</sup>
Caatinga	626 Wm <sup>-2</sup>	638 Wm <sup>-2</sup>	12 Wm <sup>-2</sup>
Solo Exposto	315 Wm <sup>-2</sup>	349 Wm <sup>-2</sup>	34 Wm <sup>-2</sup>
Agricultura Irrigada	588 Wm <sup>-2</sup>	603 Wm <sup>-2</sup>	15 Wm <sup>-2</sup>
Área Construída	493 Wm <sup>-2</sup>	510 Wm <sup>-2</sup>	17 Wm <sup>-2</sup>

Fonte: O autor.

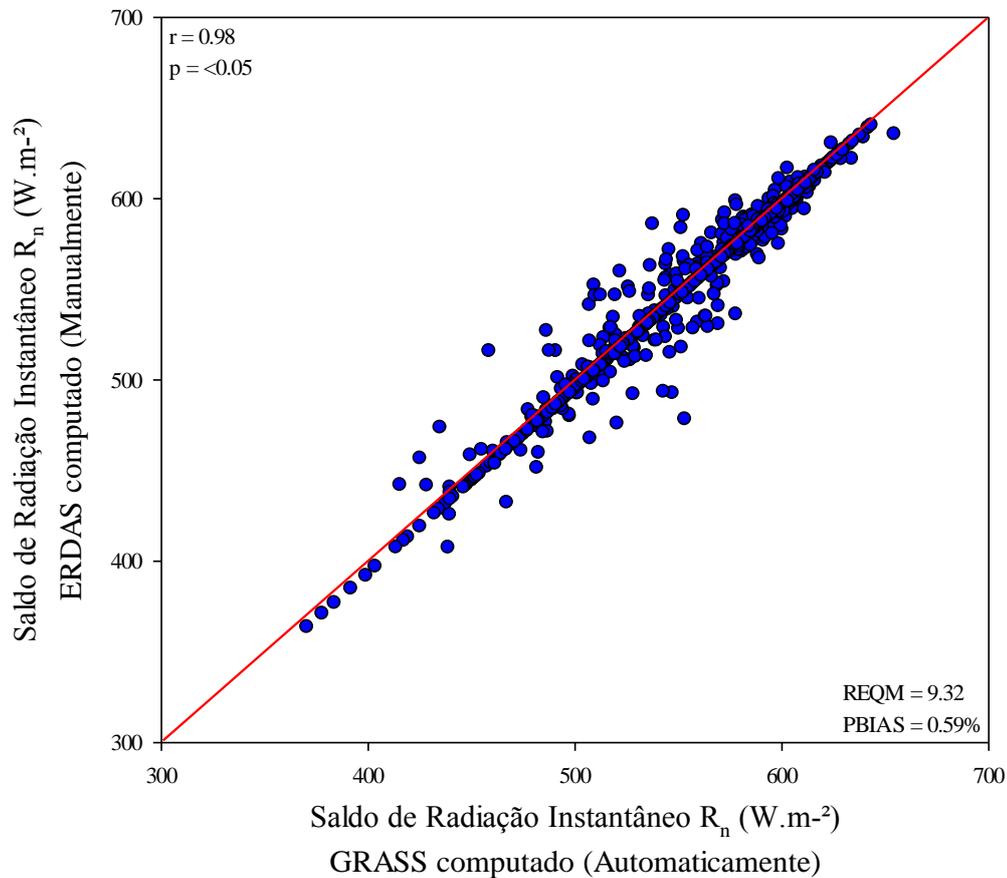
**Figura 22** - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra, em relação aos três índices de vegetação, Albedo, Temperatura da Superfície e Saldo de Radiação



Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 22 a correlação negativa entre as Estimativas do Saldo de Radiação -  $R_n$  e do Albedo de Superfície ( $\alpha$ ), esses resultados são semelhantes aos de Silva *et al.* (2011), os autores explicam que valores baixos do Albedo ( $\alpha$ ), resultam em Saldo de Radiação elevados e elevados valores do albedo, resultam em valores de  $R_n$  baixos. Também é possível notar nesta Figura, que os baixos valores de Albedo e Temperatura da Superfície localizados em região escarpada da bacia hidrográfica, foi registrado um menor valor de albedo e temperatura, resultando num maior Saldo de Radiação da Caatinga, instalada na região escarpada.

Figura 23 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Saldo de Radiação ( $R_n$ )



Observou-se na Figura 23 que o Saldo de Radiação Instantâneo –  $R_n$ , gerado de forma manual e automatizada, apresentaram o coeficiente de correlação -  $r$  de 0,98, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REM), qual seja,  $9,32 \text{ Wm}^{-2}$ , indica uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). Com o PBIAS, foi possível identificar em porcentagem, uma superestimativa do Saldo de Radiação Instantâneo -  $R_n$ , fomentado automaticamente, qual seja, 0,59%.

#### 4.1.10 Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Fluxo de Calor no Solo (G)

Os valores do Fluxo de Calor no Solo (G), de uma forma geral, foram inferiores a  $100 \text{ Wm}^{-2}$  para todas as classes de uso e ocupação da terra, exceto para a classe de corpos hídricos, que apresentou valores de  $211,7 \text{ Wm}^{-2}$  para a classe “Água”, que representou os corpos hídricos encontrados na bacia em estudo. Já para a estimativa realizada de forma automática, esses valores foram de  $214,4 \text{ Wm}^{-2}$ , onde pode-se observar na Figura 24 e Tabela 13. Silva e Bezerra (2005), realizaram estudos sobre a determinação dos componentes do balanço de energia à superfície com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície, então, identificaram valores maior que  $190 \text{ Wm}^{-2}$  para área do lago de Sobradinho e leito do rio São Francisco. Esses valores corroboram os valores encontrado na presente pesquisa, mostrando então coerência nas estimativas realizadas tanto de forma manual, quanto de forma automatizada. Silva *et al.* (2012), realizaram estudos sobre a evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro, distrito de São Gonçalo, município de Sousa-PB, utilizando então as técnicas de sensoriamento remoto. Onde os autores relataram que o Fluxo de Calor no Solo (G), de uma forma geral não ultrapassaram os  $150 \text{ Wm}^{-2}$ , exceto pelos corpos hídricos que tiveram os valores máximos de até  $262,5 \text{ Wm}^{-2}$  para a área do Açude de São Gonçalo.

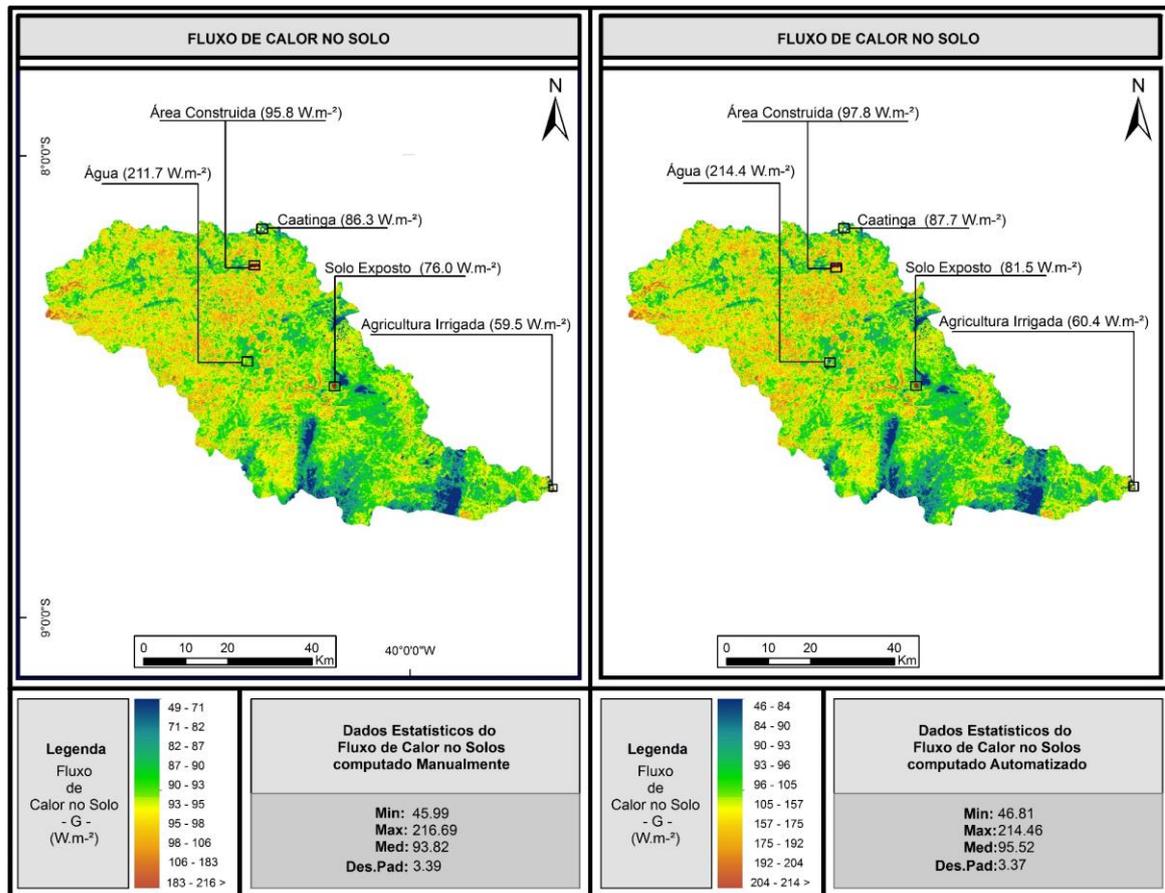
Já para as áreas de vegetação nativa “Caatinga”, os valores estimados para o Fluxo de Calor no Solo (G), foram de  $86,3 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada de forma manual, já para a estimativa automatizada, esses valores foram de  $87,7 \text{ Wm}^{-2}$ . Arraes *et al.* (2012) realizaram estudos sobre a dinâmica do balanço de energia sobre o açude orós e suas adjacências, localizado no interior do Ceará-BR, e identificaram valores do Fluxo de calor no Solo (G), com valores máximos para áreas de vegetação nativa próximo dos  $80 \text{ Wm}^{-2}$  e, valores mínimos próximos dos  $40 \text{ Wm}^{-2}$ , esses valores corroboram com os valores encontrados na presente pesquisa. Silva *et al.* (2015), realizaram estimativa da evapotranspiração real diária para a microbacia do rio das Lontras, localizado no Estado do Paraná, onde foi utilizando o algoritmo SEBAL e imagens Landsat 8, os autores ao aplicar o algoritmo identificaram valores do Fluxo de Calor no Solo (G) de  $41 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de Mata Nativa localizado na bacia analisada, esses valores são diferentes dos encontrado na presente pesquisa, no entanto, Arraes *et al.* (2012), relatam que entre as estimativas do Balanço de Energia, o que demonstra maior imprecisão nos valores estimados, é o Fluxo de Calor no Solo (G). Oliveira (2012a) ressalta que os valores estimados apresentam anomalias devido ao tipo de vegetação, cultura e etc.

Para áreas de “Solo Exposto”, são identificados valores em torno dos  $76 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada de forma manual, para a estimativa realizada no formato automatizado, foram identificados valores em torno dos  $81,5 \text{ Wm}^{-2}$ . Valores próximos aos identificados nesta pesquisa, podem ser verificados em Silva *et al.* (2015), que identificaram valores médios de  $67 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de solo exposto. Martins (2015), identificou valores médios do Fluxo de Calor no Solo (G), em torno de  $169,8 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de Solo Exposto, na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, localizada entre os estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Silva e Bezerra (2005), identificaram valores do (G), para áreas de Solo Exposto em torno dos 20% do Saldo de Radiação ( $340 \text{ Wm}^{-2}$ ), cerca de  $68 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de solo. Esses valores corroboram com as estimativas realizadas na presente pesquisa, com valores coerentes para áreas desprovida de cobertura vegetal.

Já para os valores estimados do Fluxo de Calor no Solo (G), para as áreas de agricultura irrigada realizado de forma manual, apresentaram valores de  $59,5 \text{ Wm}^{-2}$ , já a estimativa automatizada para o (G), apresentaram valores de  $60,4 \text{ Wm}^{-2}$  nas áreas de agricultura irrigada. Valores próximos aos encontrados nesta pesquisa podem ser encontrados em Silva e Bezerra (2005), que ao aplicarem o SEBAL, identificaram valores inferiores a  $70 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas irrigadas próximas ao Lago Sobradinho-BA. Valores semelhantes foram identificado em Silva *et al.* (2017), que observaram valores abaixo dos  $75 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas irrigadas em Iguatu-CE. Esses valores corroboram com os valores estimados nesta pesquisa. Arraes *et al.* (2012), identificaram valores máximos em torno dos  $70 \text{ Wm}^{-2}$  e, valores mínimos acima dos  $40 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura, esses valores corroboram com os valores encontrados na presente pesquisa. Bezerra *et al.* (2008), ao realizarem a aplicação do algoritmo SEBAL, identificaram valores em torno de  $60 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura irrigada no estado do Ceará, na região próxima ao Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte. Esses valores estão de acordo com os valores encontrado na presente pesquisa e, corroboram com a estimativas apresentadas até o momento.

Já para áreas com a classe denominada de “áreas urbanas”, os valores do Fluxo de Calor no Solo (G), comumente são valores elevados, neste caso, as estimativas foram de  $95,8 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada de forma manual e, de  $97,8 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada no formato automatizado. Tanto para áreas com grandes áreas de espelho d’água, quanto em áreas com área urbana, Martins (2015), identificou os maiores valores de “G”, para as áreas de corpos hídricos, o segundo maior valor identificado foi em áreas urbanas, o autor identificou valores em torno de  $172,5 \text{ Wm}^{-2}$ . Atasevera *et al.* (2013), identificaram valores diferentes entre 8 a 10  $\text{MJm}^{-2}$ , o que dá 92 a  $115 \text{ Wm}^{-2}$  para área urbana de Adana, uma área localizada no sul da Turquia/Europa.

Figura 24 - Mapa da Estimativa do Fluxo de Calor no Solo (G), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



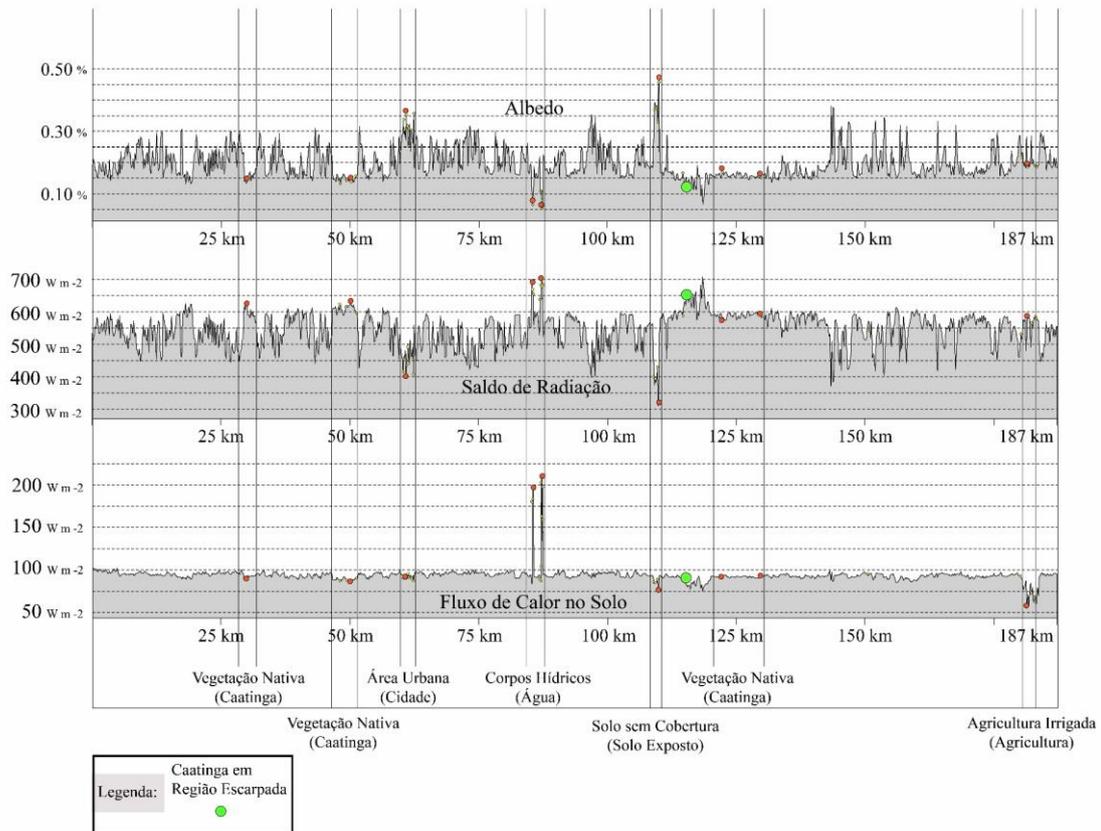
Fonte: O autor.

Tabela 13 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Fluxo de Calor no Solo Obtido de Forma Manual e Automatizada

	Fluxo de Calor no Solo computado Manualmente	Fluxo de Calor no Solo computado automaticamente	Varição do Fluxo de Calor no Solo (G)
Água	211,7 Wm <sup>-2</sup>	214,4 Wm <sup>-2</sup>	2,7 Wm <sup>-2</sup>
Caatinga	86,3 Wm <sup>-2</sup>	87,7 Wm <sup>-2</sup>	1,4 Wm <sup>-2</sup>
Solo Exposto	76 Wm <sup>-2</sup>	81,5 Wm <sup>-2</sup>	5,5 Wm <sup>-2</sup>
Agricultura Irrigada	59,5 Wm <sup>-2</sup>	60,4 Wm <sup>-2</sup>	0,9 Wm <sup>-2</sup>
Área Construída	95,8 Wm <sup>-2</sup>	97,8 Wm <sup>-2</sup>	2 Wm <sup>-2</sup>

Fonte: O autor.

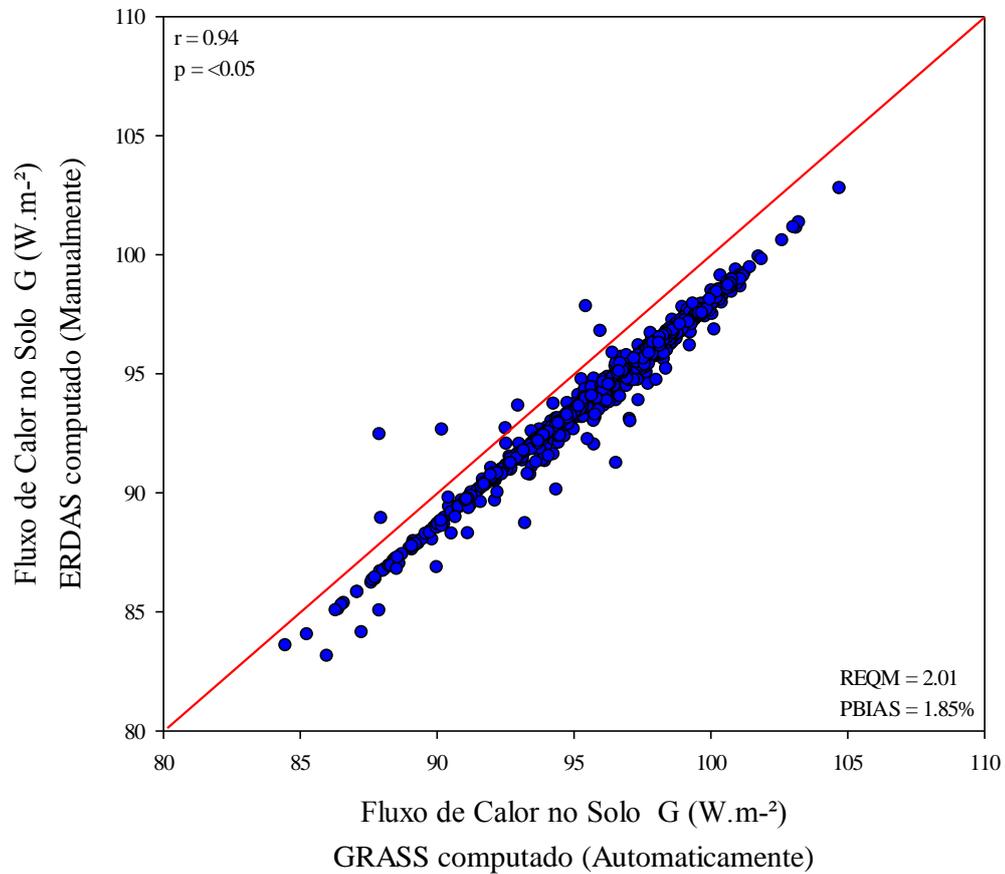
Figura 25 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Albedo de Superfície ( $\alpha$ ), Saldo de Radiação ( $R_n$ ) e o Fluxo de Calor no Solo ( $G$ )



Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 25 a correlação negativa entre as Estimativas do Saldo de Radiação -  $R_n$  e do Albedo de Superfície ( $\alpha$ ), e picos do Fluxo de Calor no Solo ( $G$ ) e do Saldo de Radiação ( $R_n$ ), ficando evidente a correlação positiva nos Corpos Hídricos. Já para a correlação dos valores baixos dos corpos hídricos, implicam em valores elevados do Fluxo de Calor no Solo ( $G$ ). Em relação aos outros pontos do Fluxo de calor do solo, como a agricultura é possível identificar que com o Saldo de Radiação elevado, menor será o Fluxo de Calor no Solo das culturas irrigadas. Já para os outros pontos, há uma estabilidade ao olho nu, em relação a Figura 25.

Figura 26 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Fluxo de Calor no Solo (G)



Observou-se na Figura 26 que o Fluxo de Calor no Solo (G) gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação - r de 0,94, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REQM), qual seja,  $2,01 \text{ Wm}^{-2}$ , indica uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). O PBIAS, identificou em porcentagem, uma superestimativa de 1,85%, do Fluxo de Calor no Solo (G) gerado de forma automática.

#### 4.1.11 Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Fluxo de Calor Sensível (H)

Os valores da estimativa realizada da forma manual do Fluxo de Calor Sensível (H), foram de 118,64 Wm<sup>-2</sup> para a classe de corpos hídricos, já para a estimativa realizada de forma automatizada, os corpos hídricos corresponderam aos valores de 115,94 Wm<sup>-2</sup>, como podem ser observados na Figura 27 e Tabela 14. Silva *et al.* (2012), identificaram valores que variaram de 34,4 a 71 Wm<sup>-2</sup> para os corpos hídricos encontrados em São Gonçalo-PB. Beg *et al.* (2016), identificaram valores médios de 86,2 Wm<sup>-2</sup> para áreas de corpos hídricos. Silva *et al.* (2015), identificaram valores baixos de Fluxo de Calor Sensível para a classe de corpos hídricos, com valores em torno de 116 Wm<sup>-2</sup>, tendo-se valores mais baixos apenas para áreas de mata nativa. Silva *et al.* (2016), identificaram valores em torno de 103 Wm<sup>-2</sup> para áreas de corpos hídricos no município de São Gabriel do Oeste – MS. Silva *et al.* (2017), encontraram valores de Fluxo de Calor Sensível – H, em torno 0,06 a 86 Wm<sup>-2</sup> para áreas de corpos hídricos, esses valores estão próximos aos identificados na presente pesquisa.

Já para as áreas de Caatinga, os valores do Fluxo de Calor Sensível – H, identificados para as áreas de “vegetação nativa”, foram de 117,61 Wm<sup>-2</sup> para a estimativa realizada de forma manual, enquanto a estimativa realizada automaticamente, os valores registrados foram de 112,33 Wm<sup>-2</sup> para a Caatinga. Em estudos de Beg *et al.* (2016), os valores no fluxo de calor sensível tiveram médias de 113,3 Wm<sup>-2</sup> para áreas de vegetação nativa. Silva *et al.* (2015), identificaram os valores mais baixos da carta do Fluxo de Calor Sensível em áreas de mata nativa, identificando valores em torno dos 71 Wm<sup>-2</sup>. Estudos como em Silva *et al.* (2016), foi possível identificar valores mínimos em torno de 101 Wm<sup>-2</sup> para áreas de vegetação nativa. Em pesquisas como em Arraes *et al.* (2012), os valores do Fluxo de Calor Sensível - H, para áreas nativas ficam entre os valores de 0 a 100 Wm<sup>-2</sup>, oscilando de acordo com os anos da análise temporal realizada, tendo seus menores valores na data de 20 de agosto de 2008 e, seus maiores valores em 14 de junho de 2006. Esses valores, estão próximos aos valores encontrados na presente pesquisa, corroborando então com as estimativas realizadas.

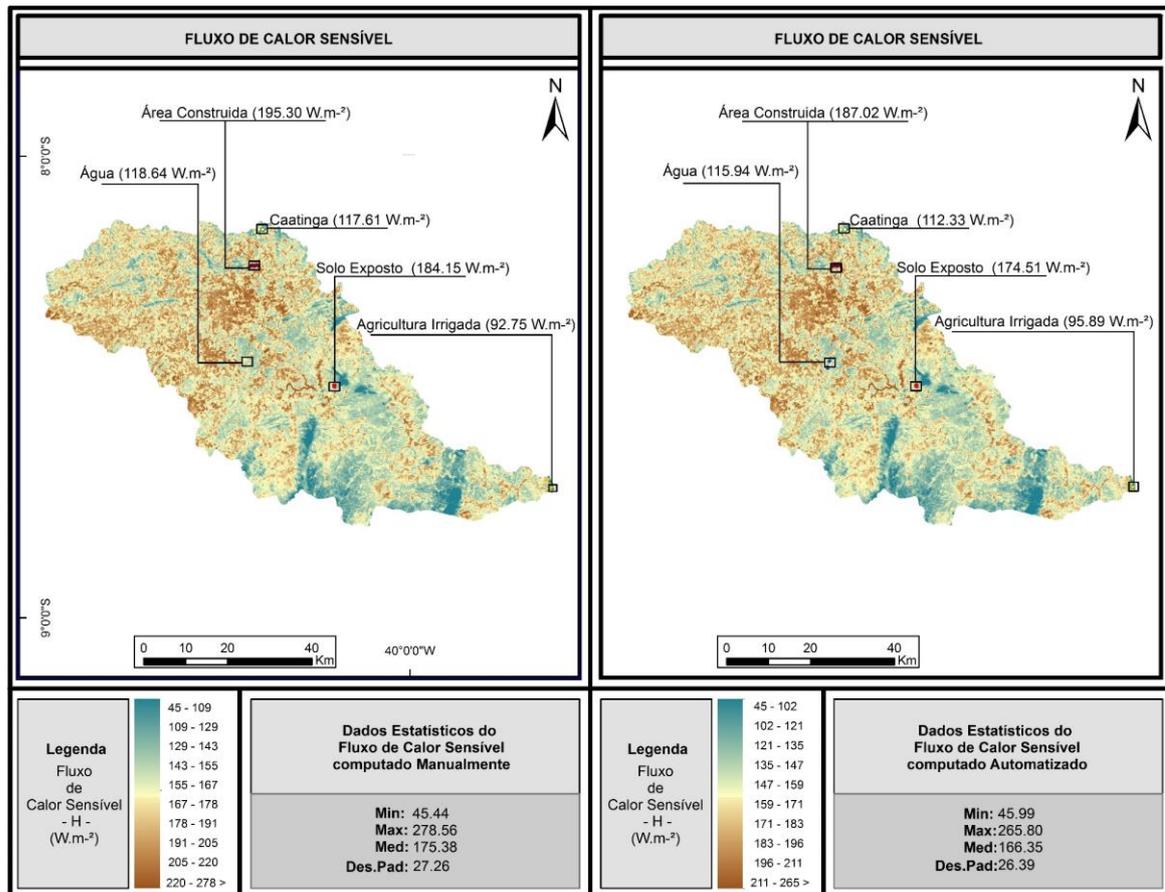
Para áreas de solo exposto, foram identificados valores na ordem de 184,15 Wm<sup>-2</sup>, isso para a estimativa realizada manualmente, para a estimativa automatizada, esses valores diminuem para 174,51 Wm<sup>-2</sup> na classe de solo exposto aferida. Beg *et al.* (2016), identificaram valores médios de 158,5 Wm<sup>-2</sup> para áreas de solo exposto, esses valores assemelham-se aos resultados do Fluxo de Calor no Solo, para áreas de solo exposto, corroborando assim, com a presente pesquisa. Silva *et al.* (2012), identificaram valores elevados para áreas de solo exposto,

valores superiores a  $262 \text{ Wm}^{-2}$ . Silva *et al.* (2016), identificaram valores mínimos na ordem de  $134 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de solo exposto.

Já os valores do Fluxo de Calor Sensível identificados para a estimativa realizada de forma manual, foram na ordem de  $92,75 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura irrigada, os valores estimados de forma automatizada, foram de  $95,89 \text{ Wm}^{-2}$ , esses valores estão próximos aos valores máximos identificados por Arraes *et al.* (2012), que foram valores acima de  $100 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura irrigada. Silva *et al.* (2015), identificaram valores médios de  $254 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura, esses valores são superiores aos estimados nesta pesquisa. Já Santos *et al.* (2010), identificaram valores em torno de  $72 \text{ Wm}^{-2}$  para área de cultivo de arroz, chegando próximo aos valores estimados nesta pesquisa. Silva *et al.* (2016), identificaram valores mínimos de  $106 \text{ Wm}^{-2}$ , para áreas de agricultura irrigada, valores próximos aos encontrados nessa pesquisa. Silva *et al.* (2017), observaram que no município de Iguatu-CE, os valores para áreas de agricultura irrigada, ficaram na ordem de 87 a  $167 \text{ Wm}^{-2}$ , sendo estes valores pertinentes ao presente estudo.

Para as áreas construída da bacia hidrográfica em estudo, os valores do Fluxo de Calor Sensível – H, não foram demasiadamente elevados, devido à falta de consolidação da mancha urbana identificada na bacia, por tanto, esses valores seguiram na ordem de  $195,30 \text{ Wm}^{-2}$  para a estimativa realizada de forma manual, já para a estimativa efetuada de forma automatizada, foram de  $187,02 \text{ Wm}^{-2}$ . Esses valores são menores do que os valores encontrados em Oliveira *et al.* (2015b), que registraram valores acima dos  $500 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanas de Pombos-PE e Vitoria de Santo Antão-PE. Já Santos *et al.* (2010), identificaram valores que intercalaram entre, 200 a  $400 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanas, mais especificamente na cidade de paraíso do Sul, valores próximos aos desta pesquisa. Silva *et al.* (2016), identificaram valores mínimos de área urbana na ordem de  $367 \text{ Wm}^{-2}$ .

Figura 27 - Mapa da Estimativa do Fluxo de Calor Sensível (H), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



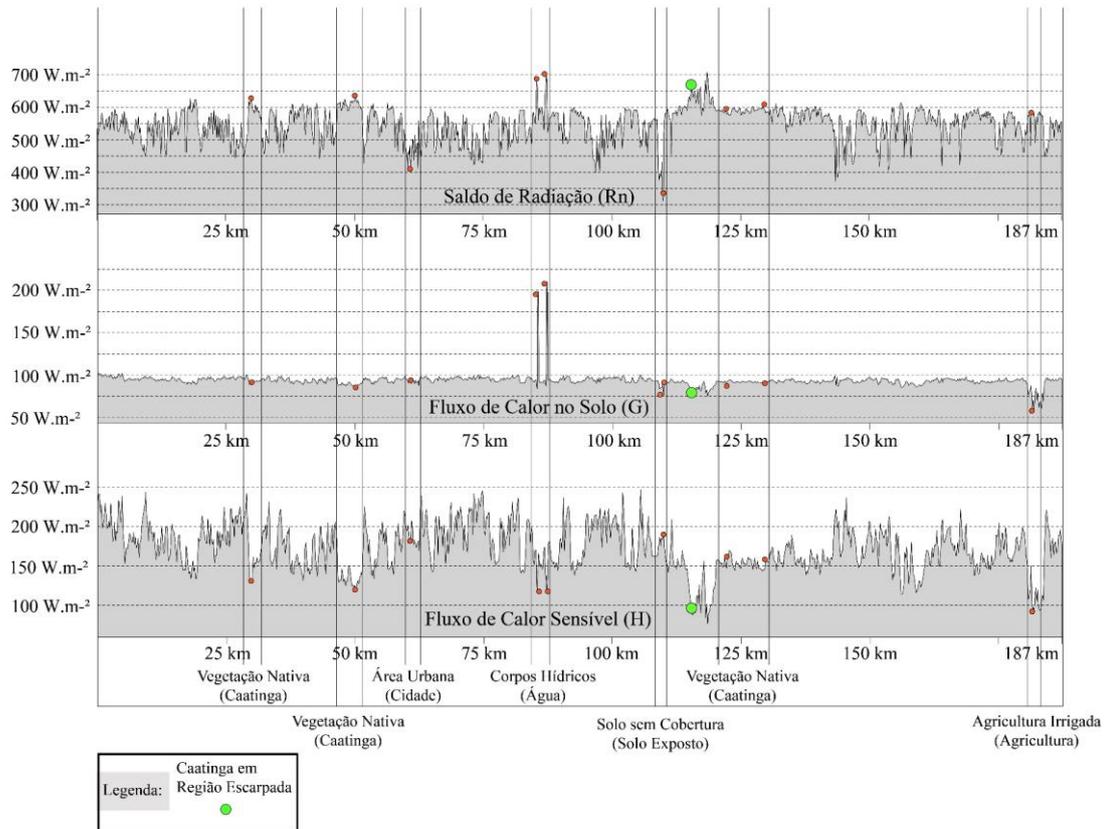
Fonte: O autor.

Tabela 14 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Fluxo de Calor Sensível (H) Obtido de Forma Manual e Automatizada

	Fluxo de Calor Sensível computado Manualmente	Fluxo de Calor Sensível computado automaticamente	Varição do Fluxo de Calor Sensível (H)
Água	118,64 Wm <sup>-2</sup>	115,94 Wm <sup>-2</sup>	2,7 Wm <sup>-2</sup>
Caatinga	117,61 Wm <sup>-2</sup>	112,33 Wm <sup>-2</sup>	5,28 Wm <sup>-2</sup>
Solo Exposto	184,15 Wm <sup>-2</sup>	174,51 Wm <sup>-2</sup>	9,64 Wm <sup>-2</sup>
Agricultura Irrigada	92,75 Wm <sup>-2</sup>	95,89 Wm <sup>-2</sup>	3,14 Wm <sup>-2</sup>
Área Construída	195,30 Wm <sup>-2</sup>	187,02 Wm <sup>-2</sup>	8,28 Wm <sup>-2</sup>

Fonte: O autor.

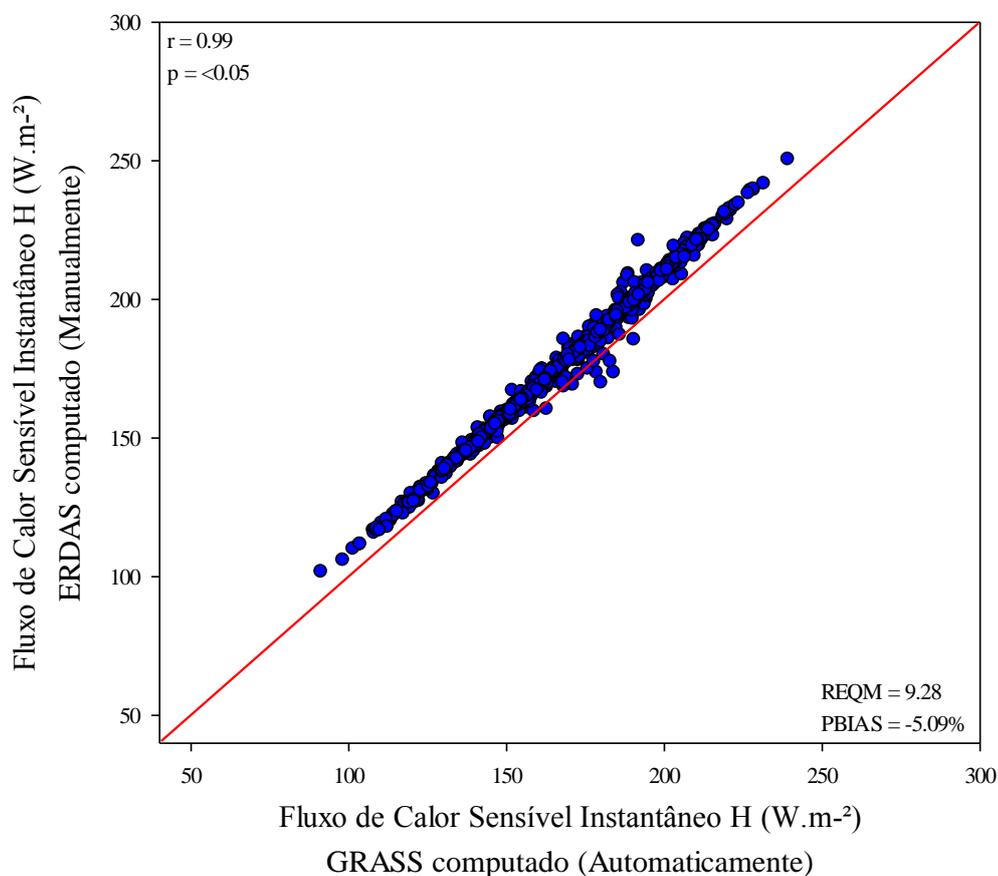
Figura 28 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Saldo de Radiação ( $R_n$ ), Fluxo de Calor no Solo ( $G$ ) e o Fluxo de Calor Sensível ( $H$ )



Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 28 uma correlação negativa entre os dois componentes do balanço de energia, o Saldo de Radiação ( $R_n$ ) e o Fluxo de Calor Sensível ( $H$ ). Pode-se observar na Figura 28, que na vegetação nativa “Caatinga,” há picos elevados do  $R_n$ , enquanto essa mesma classe, tem seus valores reduzidos, na carta do Fluxo de Calor Sensível -  $H$ . Pode-se observar este fenômeno também nos corpos hídricos, que tem seus valores elevados no  $R_n$ , e seus valores baixos no “ $H$ ”. Pode-se observar, então, o Fluxo de Calor Sensível –  $H$ , na classe de áreas urbanas, que na Figura 28, seus valores são elevados, em relação aos valores baixos do Saldo de Radiação ( $R_n$ ). Também pode ser observado, a vegetação nativa “Caatinga”, em região escarpada, destacado então, com uma “bolinha verde”, essa área representa uma área úmida e com valores elevados de Saldo de Radiação e, valores baixos do Fluxo de Calor Sensível ( $H$ ).

Figura 29 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Fluxo de Calor Sensível (H)



Observou-se na Figura 29 que o Fluxo de Calor no Sensível (H) gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação - r de 0,99, indicando uma correlação muito forte e, positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REQM), qual seja, 9,28 Wm<sup>-2</sup>, indica uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). A aplicação com o PBIAS, identificou em porcentagem uma subestimativa de -5,09%, do Fluxo de Calor no Sensível (H) gerado na forma automatizada, indicando valores menores da estimativa realizada automaticamente.

#### 4.1.12 Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Fluxo de Calor Latente (LE)

Os valores da estimativa realizada da forma manual do Fluxo de Calor Latente (LE), foram de  $375,45 \text{ Wm}^{-2}$  para a classe de corpos hídricos, localizado em um pequeno reservatório da bacia hidrográfica de estudo, já para a estimativa realizada de forma automatizada, os corpos hídricos corresponderam aos valores de  $384,46 \text{ Wm}^{-2}$ , onde pode-se observar na Figura 30 e Tabela 15. Estudo como em Oliveira *et al.* (2015b), foi possível observar que os maiores valores de Fluxo de Calor Latente - LE, foram identificados no Reservatório do Tapacurá, onde foram registrados valores superiores aos  $500 \text{ Wm}^{-2}$ . Silva *et al.* (2017), observaram que os valores de (LE), chegaram aos  $632 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de corpos hídricos. Silva *et al.* (2012), destacam ter identificado também valores elevados de (LE) para corpos hídricos, chegando a  $544 \text{ Wm}^{-2}$ .

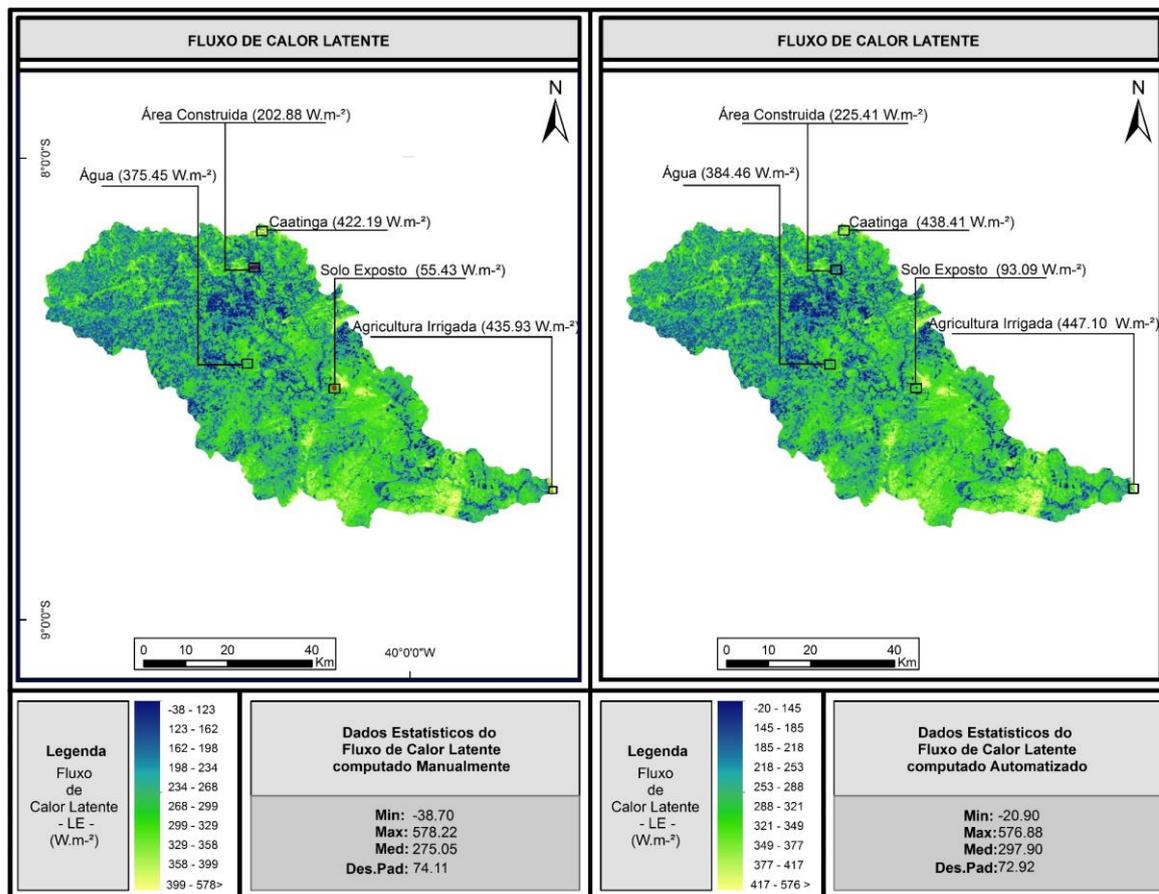
Já para as áreas de vegetação nativa, também foram identificados valores elevados, onde os valores da Caatinga atingiram valores na ordem de  $422,19$  e  $438,41 \text{ Wm}^{-2}$ , para as estimativas realizadas de forma manual e automatizadas, respectivamente. Santos *et al.* (2010), identificaram valores máximos de  $299 \text{ Wm}^{-2}$  para vegetação nativa. Beg *et al.* (2016), encontraram valores médios de (LE), na ordem de  $296,8 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de vegetação nativa “floresta”.

Para áreas de solo exposto, são comumente baixos, qual seja,  $55,43 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de solo exposto computado de forma manual, já para o cálculo realizado de forma automática, os valores para o solo exposto foram de  $93,09 \text{ Wm}^{-2}$ . Em Beg *et al.* (2016), os valores encontrados de (LE), para solo exposto tiveram médias de  $129,7 \text{ Wm}^{-2}$ . Silva *et al.* (2017), identificaram que os valores de (LE), para áreas de solo exposto, ficaram abaixo dos  $100 \text{ Wm}^{-2}$ , corroborando com os dados estimados nesta pesquisa.

Nas áreas de agricultura irrigada, esses valores são elevados, onde pode-se observar,  $435,93 \text{ Wm}^{-2}$  para estimativa realizada manualmente, já para o cálculo automatizado, esses valores chegam a  $447,10 \text{ Wm}^{-2}$ . Santos *et al.* (2010), identificaram valores de  $633$  a  $778 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas irrigadas. Já Silva *et al.* (2012), identificaram valores  $469,7$  a  $>544,0$  para áreas de agricultura irrigada. Silva *et al.* (2017), identificaram valores de (LE), que intercalaram entre  $295$  a  $432 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de agricultura irrigada.

Para as áreas classificadas como área construída “área urbana”, os valores do (LE) computado de forma manual, foram de  $201,88 \text{ Wm}^{-2}$ , já para o cálculo automatizado, esses valores chegaram aos  $225,41 \text{ Wm}^{-2}$ , valores próximos aos encontrados em Silva *et al.* (2016), que foram de  $113 \text{ Wm}^{-2}$ , para áreas urbanizadas. Oliveira *et al.* (2015b), identificaram valores abaixo de  $150 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanas de Pombos e Vitória de Santo Antão – PE.

Figura 30 - Mapa da Estimativa do Fluxo de Calor Latente (LE), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



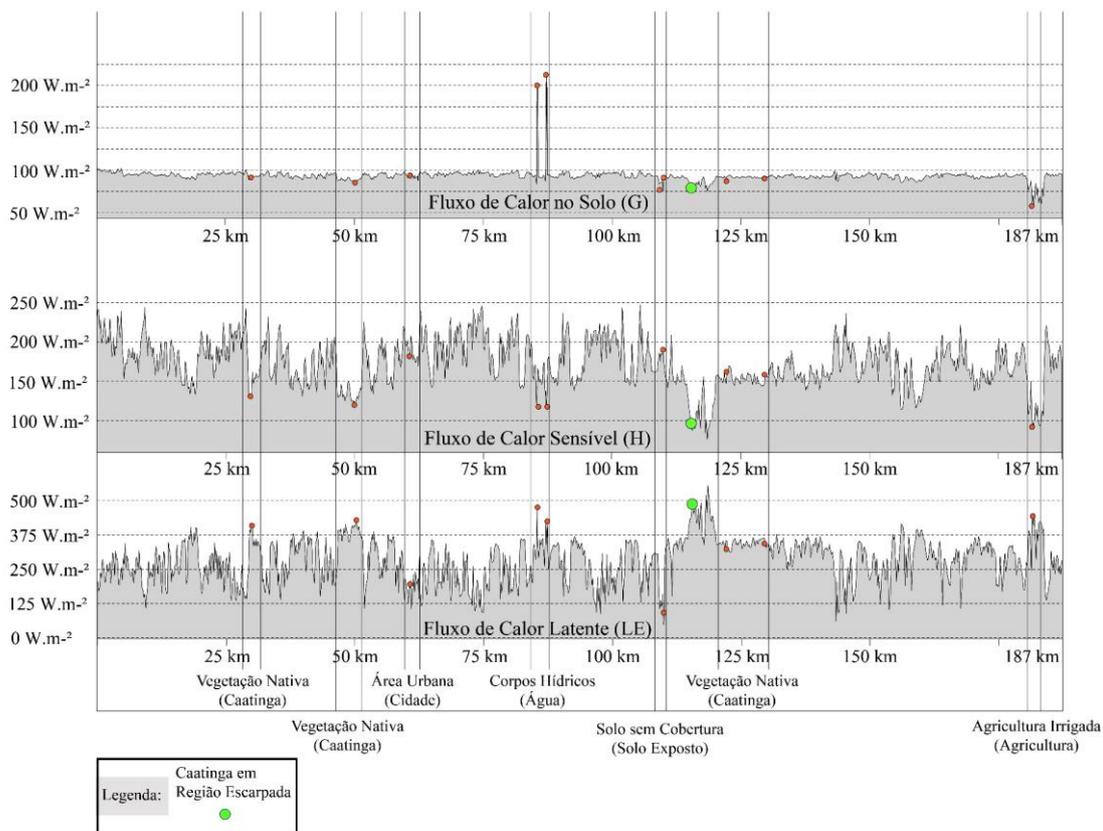
Fonte: O autor.

Tabela 15 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Fluxo de Calor Latente (LE) Obtido de Forma Manual e Automatizada

	Fluxo de Calor Latente computado Manualmente	Fluxo de Calor Latente computado automaticamente	Varição do Fluxo de Calor Latente (LE)
Água	375,45 Wm <sup>-2</sup>	384,46 Wm <sup>-2</sup>	9,01 Wm <sup>-2</sup>
Caatinga	422,19 Wm <sup>-2</sup>	438,41 Wm <sup>-2</sup>	16,22 Wm <sup>-2</sup>
Solo Exposto	55,43 Wm <sup>-2</sup>	93,09 Wm <sup>-2</sup>	37,66 Wm <sup>-2</sup>
Agricultura Irrigada	435,93 Wm <sup>-2</sup>	447,10 Wm <sup>-2</sup>	11,17 Wm <sup>-2</sup>
Área Construída	202,88 Wm <sup>-2</sup>	225,41 Wm <sup>-2</sup>	22,53 Wm <sup>-2</sup>

Fonte: O autor.

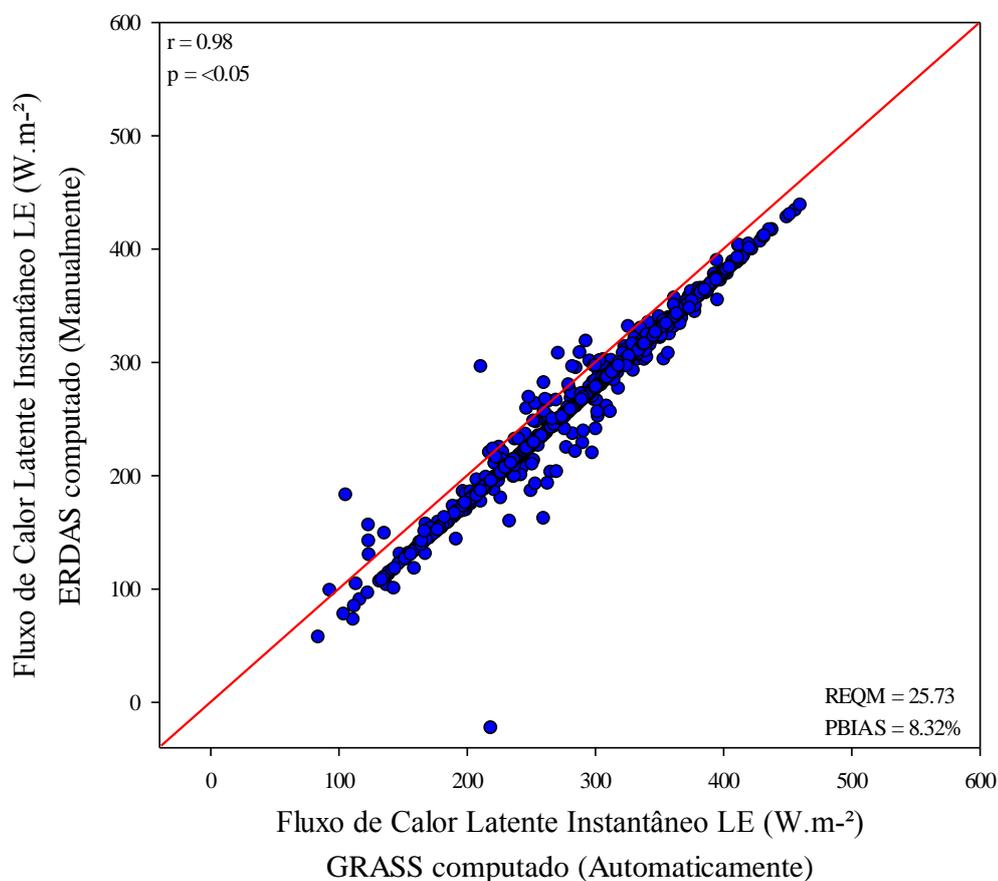
Figura 31 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Fluxo de Calor no Solo (G), Fluxo de Calor Sensível (H) e o Fluxo de Calor Latente (LE)



Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 31, uma correlação negativa entre as Estimativas do Fluxo de Calor Sensível (H) e o Fluxo de Calor Latente (LE). Onde o perfil do Fluxo de Calor Sensível (H) identificado como corpos hídricos, apresentam-se como valores moderadamente baixos, tornando-se valores elevados no Fluxo de Calor Latente (LE). Pode-se aferir também, que os valores da classe caracterizada como Solo Exposto, são identificados com valores elevados no transecto que representa o Fluxo de Calor Sensível - H, já para o Fluxo de Calor Latente - LE, os valores para a Classe de Solo Exposto, é identificada como valores baixos. Em termos gerais, o perfil do Fluxo de Calor no Solo (G), apresenta um comportamento estável, apenas dando-se destaques aos picos de valores nos corpos hídricos, que apresentam valores elevados no Fluxo de Calor do Solo (G) e, valores elevados no Fluxo de Carlos Latente – LE. No Fluxo de Calor Sensível (H), os valores dos copos hídricos são baixos, quando o LE e o G são elevados.

Figura 32 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Fluxo de Latente (LE)



Observou-se na Figura 32 que o Fluxo de Calor Latente (LE) gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação - r de 0,98, indicando uma correlação muito forte e, positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Médio Quadrático (REQM), qual seja, 25,73 Wm<sup>-2</sup>, indica uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). O PBIAS, identificou em porcentagem, uma superestimando de 8,32%, do Fluxo de Calor Latente (LE) gerado de forma automática, indicando valores maiores que os estimados de forma manual.

#### 4.1.13 Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas do Saldo de Radiação 24h (Rn-24h)

As estimativas do Saldo de Radiação 24 h (Rn-24h), tiveram seus maiores valores na classe dos corpos hídricos, tendo-se valores superiores a  $183 \text{ Wm}^{-2}$  de Rn-24 para áreas identificadas como reservatórios de água estimado de forma manual, esses valores são acrescentados quando computado com a metodologia automatizada, passando para os valores de  $188 \text{ Wm}^{-2}$ , onde pode-se observar com maior detalhe na Figura 33 e Tabela 16. Estudos como em Silva *et al.* (2011), encontraram valores de Rn-24, que variaram de 14,98 a 16,99  $\text{Mjm}^{-2}$  para o Açude de São Gonçalo, que convertidos passam para 173,37 a 196,64  $\text{Wm}^{-2}$ , corroborando com os resultados da presente pesquisa, indicando os maiores valores de Rn-24h, em corpos hídricos. Estudos como em Uda *et al.* (2013), foi possível encontraram valores em torno de  $138 \text{ Wm}^{-2}$  para os Corpos hídricos.

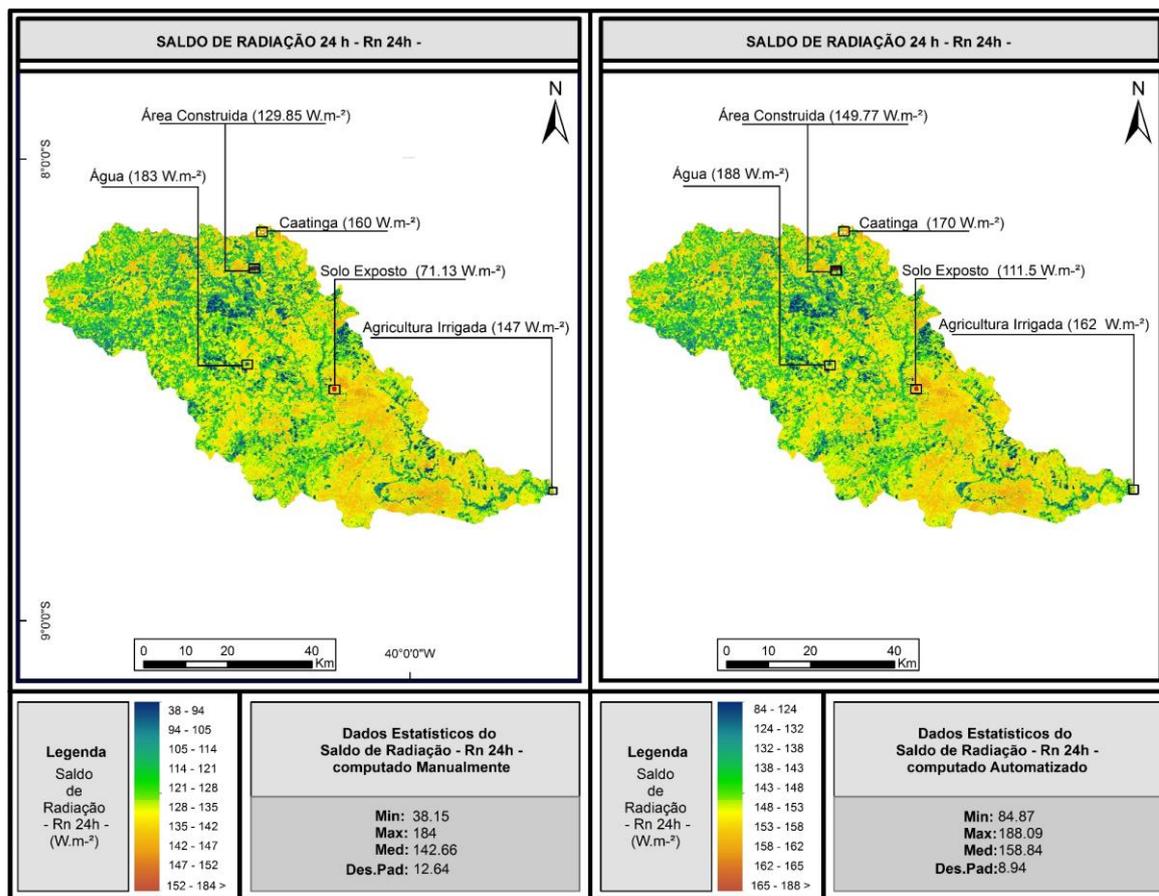
Já para as áreas de Caatinga “vegetação nativa”, foram identificados valores em torno de 160 e  $170 \text{ Wm}^{-2}$ , computados de forma manual e automático, respectivamente. Esses valores, são próximos aos encontrados em Uda *et al.* (2013), que identificaram valores entre 109,95 a  $126,15 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas com vegetação nativa. Oliveira *et al.* (2015b), identificaram valores médios de  $125,4 \text{ Wm}^{-2}$  localizada em sua área de estudo, inserida em uma fazenda, onde os valores próximos a esta pesquisa, foram identificados em áreas de pastagem, sendo, valores próximos aos encontrados nessa pesquisa para a classe de áreas nativas.

Para as áreas de solo exposto, os valores de Rn-24h, ficaram em na ordem de 71,13 e  $111,5 \text{ Wm}^{-2}$ , esses valores correspondem aos valores de solo exposto computados de forma manual e automatizada, respectivamente. Silva *et al.* (2011), identificaram valores em torno de 95,6 a  $112,5 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas de solo exposto, valores semelhantes aos identificados nesta pesquisa para áreas de solo exposto.

Foram identificados valores em torno dos 147 e  $162 \text{ Wm}^{-2}$  para as áreas de agricultura irrigada, valores computados de forma manual e automático, respectivamente. Valores próximos aos identificados nesta pesquisa, podem ser vistos em, Silva *et al.* (2012), que identificaram valores médios de  $154,7 \text{ Wm}^{-2}$  para área de agricultura irrigada, área de coqueiro irrigado.

Para as áreas construídas, foram identificados valores em torno de 129,85 e  $149,77 \text{ Wm}^{-2}$ , estimativas realizadas de forma manual e automatizada, respectivamente. Estudos como em Uda *et al.* (2013), foram encontrados valores de Rn-24h em torno de 99 a  $108,8 \text{ Wm}^{-2}$  para áreas urbanizadas e áreas de solo exposto, esses valores são próximos aos identificados na presente pesquisa, corroborando aos resultados encontrados na presente pesquisa.

Figura 33 - Mapa das Estimativa do Saldo de Radiação 24 h, computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem)



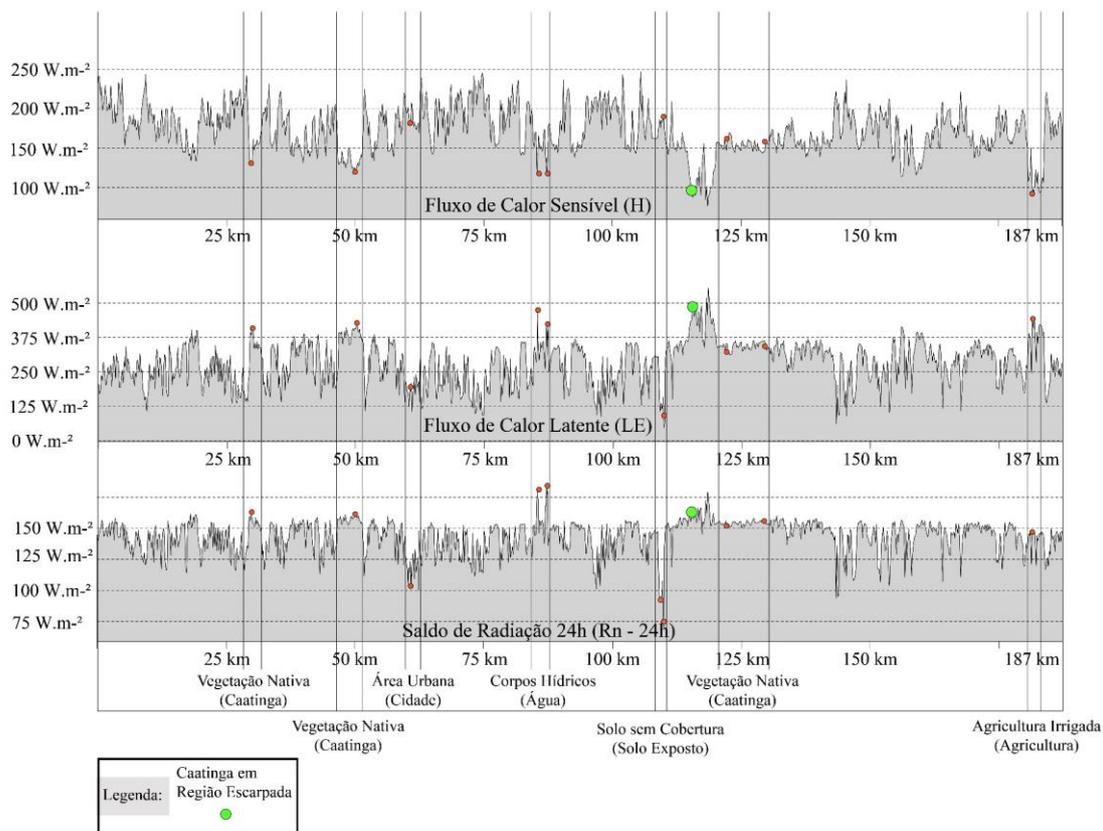
Fonte: O autor.

Tabela 16 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores do Saldo de Radiação 24h (Rn – 2h) Obtido de Forma Manual e Automatizada

	Saldo de Radiação 24h computado Manualmente	Saldo de Radiação 24h computado automaticamente	Varição do Saldo de Radiação 24h (Rn-24h)
Água	183,88 Wm <sup>-2</sup>	188,01 Wm <sup>-2</sup>	4,13 Wm <sup>-2</sup>
Caatinga	160 Wm <sup>-2</sup>	1170 Wm <sup>-2</sup>	10 Wm <sup>-2</sup>
Solo Exposto	71,13 Wm <sup>-2</sup>	111,59 Wm <sup>-2</sup>	40,46 Wm <sup>-2</sup>
Agricultura Irrigada	147,39 Wm <sup>-2</sup>	162,19 Wm <sup>-2</sup>	14,8 Wm <sup>-2</sup>
Área Construída	129,85 Wm <sup>-2</sup>	149,77 Wm <sup>-2</sup>	19,92 Wm <sup>-2</sup>

Fonte: O autor.

Figura 34 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Fluxo de Calor Sensível (H), Fluxo de Calor Latente (LE) e o Saldo de Radiação 24h (Rn-24h)

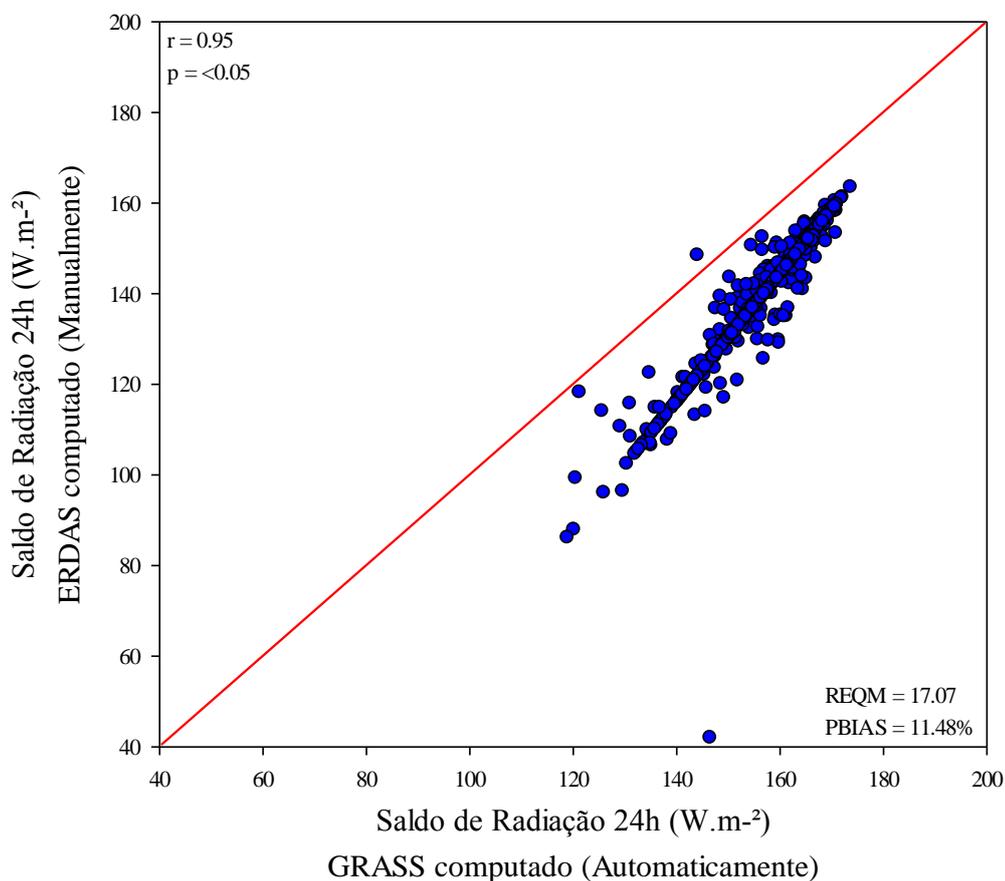


Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 34, uma correlação negativa entre as Estimativas do Fluxo de Calor Sensível (H) com o Saldo de Radiação - 24h (Rn-24h), e uma correlação positiva das estimativas do Saldo de Radiação - 24h (Rn-24h) e o Fluxo de Calor Latente (LE). É percebido na Figura 34, os elevados valores dos corpos hídricos do Saldo de Radiação 24h, acompanhando também a elevação dos valores de do Fluxo de Calor Latente (LE), que nos corpos hídricos há picos nos dois perfis dos diferentes usos. Observa-se os valores do Saldo de Radiação 24h para áreas destacada na Figura 34 acima, os valores da Caatinga identificada em local escarpado, indicado pela marcação em verde claro, onde os valores do Saldo de Radiação 24h, mais elevado, correspondem a Caatinga identificada na região escarpada e nos corpos hídricos. O Fluxo de Calor Latente (LE), acompanha as variações positivas e negativas das estimativas do Rn - 24h, onde os maiores do (LE) foram identificados nos corpos hídricos e na Caatinga em região escarpada. O Fluxo de Calor Sensível (H), é tido como inversamente proporcional em alguns usos do LE e do Rn - 24 h. Onde pode-se observar os valores dos corpos hídricos no

perfil do Fluxo de Calor Sensível (H) da Figura 34, onde os valores são baixos, em contrapartida dos Valores do (LE) e do Rn – 24h, que apresentam os maiores valores nos corpos hídricos.

Figura 35 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada do Saldo de Radiação 24h (Rn-24h)



Observou-se na Figura 35 que o Saldo de Radiação 24h (Rn – 24h) gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação - r de 0,95, indicando uma forte correlação positiva entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), qual seja, 17,07 Wm<sup>-2</sup>, indica uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). O PBIAS, que indicou em porcentagem 11,48%, esse valor indica uma superestimativa do Saldo de Radiação 24h (Rn – 24h) gerado de forma automática. Apontando valores elevados na estimativa realiza no GRASS “automático”.

#### 4.1.14 Mapas das Estimativas Manual e Automatizadas da Evapotranspiração Real (ETr – mm dia<sup>-1</sup>)

Os valores da Evapotranspiração Real (ETr), variou de 0 a valores que superaram 5,5 mm dia<sup>-1</sup> nas duas estimativas, tanto para as estimativas realizadas de forma manual, quanto na forma automática. Os maiores valores identificados nas duas cartas de evapotranspiração, foram identificados nos corpos hídricos, que na estimativa manual, esses valores foram de 4,92 mm dia<sup>-1</sup>, já para as estimativas efetuadas de forma automática, os valores foram de 5,09 mm dia<sup>-1</sup>, onde pode-se observar na Figura 36 e Tabela 17. Beg *et al.* (2016), identificaram valores médios de ETr para corpos hídricos, em torno de 6,92 mm dia<sup>-1</sup>, para áreas de corpos hídricos. Mahmoud e Alazba (2016c), realizaram o balanço de energia na Arábia Saudita, e identificaram valores médios de 9,5 mm dia<sup>-1</sup>, para os corpos hídricos encontrados no país. Bhattarai *et al.* (2016), aplicaram diversos algoritmos no estado da Flórida-EUA, e entre eles, aplicaram o SEBAL para estimar o balanço de energia e evapotranspiração real, onde foi identificado valores máximos para corpos hídricos de 4,39 mm dia<sup>-1</sup>. Esses valores corroboram com os valores estimados na presente pesquisa. Atasevera *et al.* (2013), identificaram valores de ETr em torno de 8 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de corpos hídricos. Silva *et al.* (2018), utilizaram o algoritmo SEBAL para estimar o balanço de energia no sudoeste do estado do Paraná utilizando imagens do Landsat 8, onde, identificaram valores de ETr entre 4 a 7 mm dia<sup>-1</sup> em áreas de corpos hídricos. Lima *et al.* (2014b), realizam estudos em torno da bacia hidrográfica do Rio Preto e da bacia do Ribeirão entre Ribeiros, na divisa de dois estados GO/MG mais o Distrito Federal-DF, onde efetuaram a estimativa da evapotranspiração real – ETr das bacias e, identificaram valores que variaram de 4,1 a 6 mm dia<sup>-1</sup> para os corpos hídricos inseridos na área de estudo. Esses valores são próximos aos identificados na presente pesquisa, desta maneira corroborando com os resultados desta pesquisa.

Já para áreas de vegetação nativa “Caatinga”, foram identificados valores de 4,41 mm dia<sup>-1</sup>, para a estimativa manual, já para a estimativa automatizada, esses valores tem uma pequena elevação para 4,79 mm dia<sup>-1</sup>. Beg *et al.* (2016), identificaram valores médios de ETr em torno de 10,25 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de Floresta, valores superiores aos encontrados nesta pesquisa. Valores semelhantes a presente pesquisa podem ser vistos em Silva *et al.* (2018), que obtiveram valores entre 4 a 6 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de vegetação nativa. Galvíncio *et al.* (2014), realizaram a estimativa da evapotranspiração na cidade de Recife-PE, onde aplicaram o algoritmo SEBAL para realizar as estimativas de ETr, os autores identificaram valores de que se intercalaram de 5 a 7 mm dia<sup>-1</sup>, para áreas de vegetação nativa “Mata Atlântica”. Mahmoud e Alazba (2016c), identificaram valores abaixo de 13 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de vegetação nativa

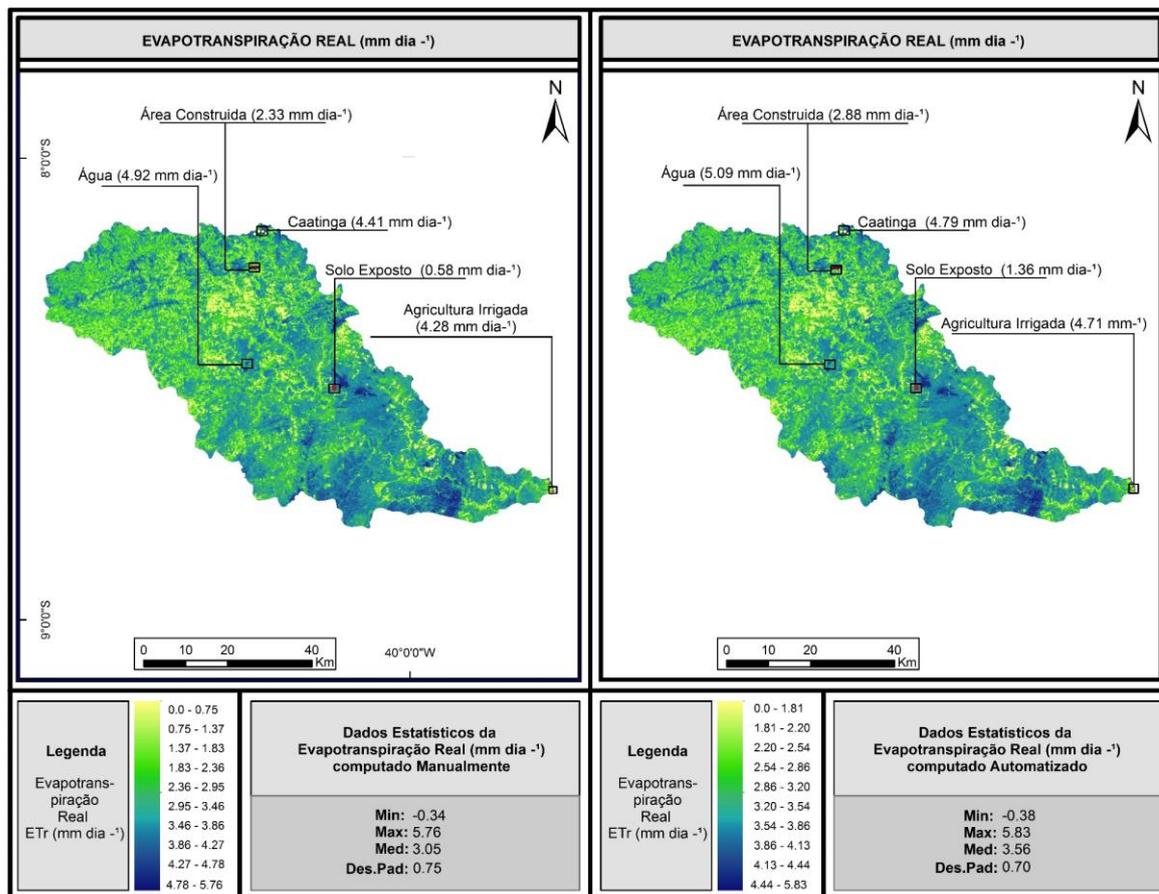
“Floresta”. Santos *et al.* (2010), observaram valores de ETr que variaram entre 3,97 a 5,80 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de vegetação nativa.

Para áreas de solo exposto, os valores de ETr para a estimativa realizada de forma manual, foi de 0,58 mm dia<sup>-1</sup>, já para a estimativa realizada de forma automatizada, esses valores atingiram 1,36 mm dia<sup>-1</sup>. Os valores da evapotranspiração real diária – ETr, Beg *et al.* (2016), identificaram valores médios de ETr em torno de 4,48 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de solo exposto, com máximas de 8,02 e mínimas de 1,12. Mahmoud e Alazba (2016c), observaram valores mínimos de 0,0 mm dia<sup>-1</sup> e valores máximos em torno dos 5 mm dia<sup>-1</sup> para área de solo exposto durante os dias pesquisado. Santos *et al.* (2010), identificaram valores de ETr em torno dos < 3,96 mm dia<sup>-1</sup>, para áreas de solo exposto. Cattani *et al.* (2017), realizaram a estimativa da evapotranspiração real diária (ETr) para o município de São Gabriel do Oeste, localizado no estado de Mato Grosso do Sul, e identificaram valores médios de ETr em torno dos 0,42 mm dia<sup>-1</sup> para área de solo exposto da área de estudo. Bezerra *et al.* (2008), identificaram valores de ETr menores que < 1,0 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de solo exposto, esses valores estão de acordo com os valores estimados de forma manual, já para os valores estimados de forma automática, esses valores são superestimados.

Para as áreas classificadas como agricultura, foram identificados valores de 4,28 mm dia<sup>-1</sup> para as estimativas realizada de forma manual, as estimativas automatizadas foram levemente elevadas, sendo então, 4,71 mm dia<sup>-1</sup>. Valores próximos aos estimados nesta pesquisa, podem ser observados em Bezerra *et al.* (2008), que identificaram valores de ETr que variaram de 4 a 6 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de agricultura irrigada, corroborando com os resultado estimados na presente pesquisa. Silva *et al.* (2012), identificaram valores máximos de ETr para áreas de agricultura que variaram de 4,4 e 5,6 mm dia<sup>-1</sup>, para o perímetro irrigado de São Gonçalo-PB, mais precisamente, para a área de coqueiro irrigado. Bhattarai *et al.* (2016), identificaram valores acima dos 6 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de agricultura. Sun *et al.* (2011), realizaram estimativas da evapotranspiração real utilizando o algoritmo SEBAL na China, onde identificaram valores de 6,57 mm dia<sup>-1</sup> para áreas de agricultura irrigada.

Já para as áreas urbanas, os valores de ETr foram identificados em 2,33 mm dia<sup>-1</sup> com a estimativa realizada de forma manual, para a estimativa realizada de maneira automatizada, esses valores sobem para 2,88 mm dia<sup>-1</sup>, esses valores são levemente elevados devido a não consolidação da área urbana de Santa Cruz - PE. Cattani *et al.* (2017), identificaram valores médios de 1,10 mm dia<sup>-1</sup> para áreas urbanizadas “cidade”.

Figura 36 - Mapa das Estimativa da Evapotranspiração Real (ETr mm dia<sup>-1</sup>), computado de forma manual (lado esquerdo da imagem) e automatizado (lado direito da imagem).



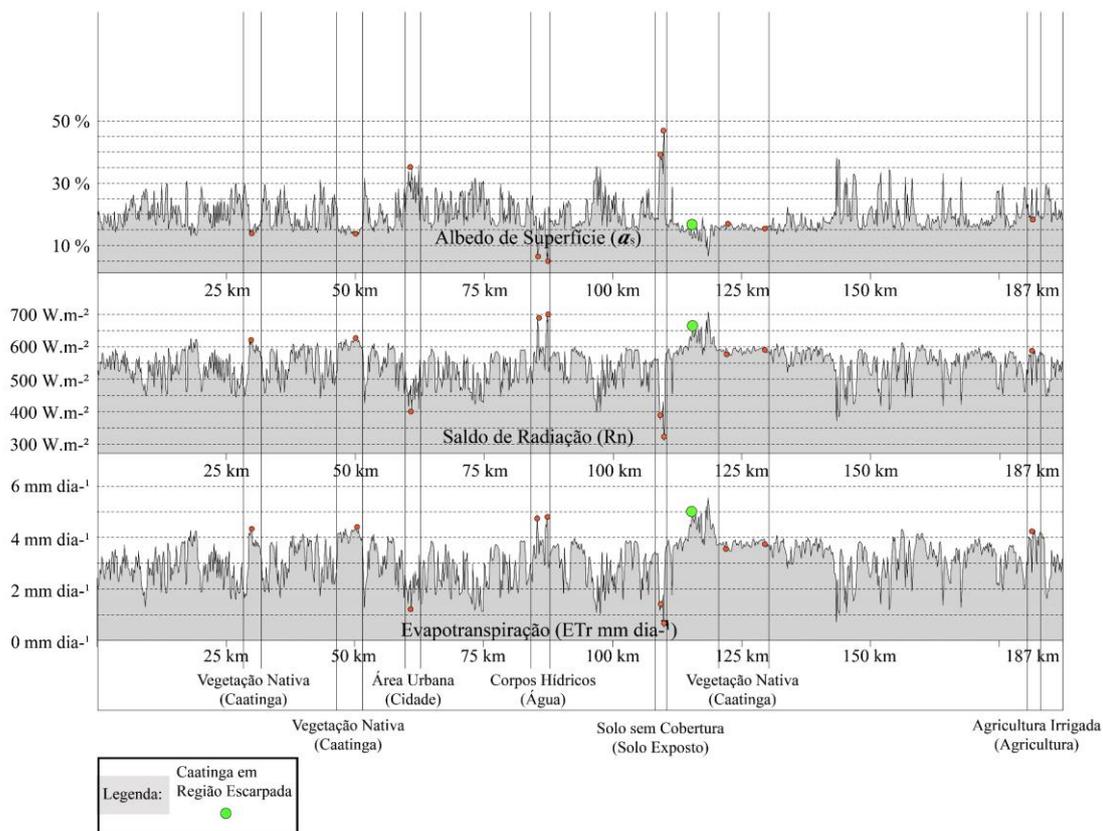
Fonte: O autor.

Tabela 17 - Dados comparativos das Estimativas dos Valores da Evapotranspiração Real (ETr mm dia<sup>-1</sup>), obtido de Forma Manual e Automatizada

	Evapotranspiração Real computado Manualmente	Evapotranspiração Real computado automaticamente	Variação da Evapotranspiração Real (ETr mm dia <sup>-1</sup> )
Água	4,92 mm dia <sup>-1</sup>	5,09 mm dia <sup>-1</sup>	0,17 mm dia <sup>-1</sup>
Caatinga	4,41 mm dia <sup>-1</sup>	4,79 mm dia <sup>-1</sup>	0,38 mm dia <sup>-1</sup>
Solo Exposto	0,58 mm dia <sup>-1</sup>	1,36 mm dia <sup>-1</sup>	0,78 mm dia <sup>-1</sup>
Agricultura Irrigada	4,28 mm dia <sup>-1</sup>	4,71 mm dia <sup>-1</sup>	4,43 mm dia <sup>-1</sup>
Área Construída	2,33 mm dia <sup>-1</sup>	2,88 mm dia <sup>-1</sup>	0,55 mm dia <sup>-1</sup>

Fonte: O autor.

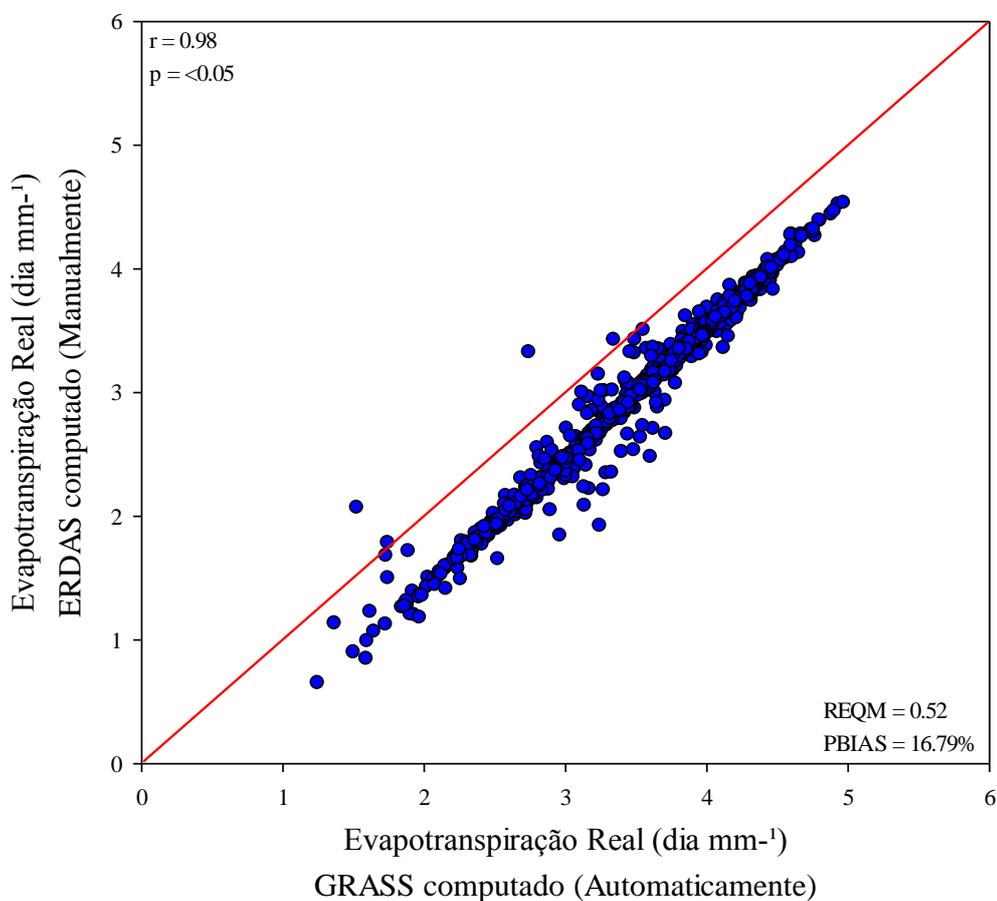
Figura 37 - Transecto identificando pontos de diferentes usos e ocupação da terra e, a correlação entre as estimativas do Albedo de Superfície ( $\alpha_s$ ), Saldo de Radiação ( $R_n$ ) e a Evapotranspiração Real (ETr)



Fonte: O autor.

Pode-se observar na Figura 37, a correlação negativa do albedo de superfície - ( $\alpha_s$ ), e a evapotranspiração real ETr, onde pode-se identificar os pontos de corpos hídricos que no perfil do albedo, é baixo, enquanto no perfil da ETr os valores são elevados, desta forma consolidando a correlação negativa do albedo e a ETr. Foram identificados também a correlação positiva da vegetação Caatinga, que tendo seus valores elevado do Saldo de Radiação Instantâneo - ( $R_n$ ), tem também seus valores elevados na evapotranspiração real ETr. Foi identificado que as áreas de solo exposto que apresentaram os maiores valores de albedo da superfície, tiveram valores baixos do Saldo de Radiação Instantâneo - ( $R_n$ ) e valores baixos de evapotranspiração real ETr, destacados então na Figura 37. Foram observados os dados da agricultura irrigada que tiveram seus valores elevados no perfil do  $R_n$  e, conseqüentemente seus valores elevados no perfil da evapotranspiração real ETr.

Figura 38 - Comparação Entre as Estimativas realizadas de forma manual e automatizada da Evapotranspiração Real (ETr)



Observou-se na Figura 38 que a Evapotranspiração Real (ETr) gerado de forma manual e automatizada, apresentam o coeficiente de correlação - r de 0,98, indicando uma correlação positiva muito forte entre as estimativas. Observa-se também a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM), qual seja, 0,52 dia mm<sup>-1</sup>, indica uma boa estimativa do GRASS (automático) em função ao ERDAS (manual). O PBIAS, identificou valores superestimados de 16,79%, indicando valores elevados estimados pelo GRASS GIS, esses valores elevados, podem sem explicados devidos a resolução radiométrica, que no ERDAS foi de 32 bits, e no GRASS GIS de 64 bits de resolução, alterando as casas decimais, e por fim, os valores das estimativas finais.

## 5 Conclusões

Pode-se concluir nesta pesquisa, que o método automatizado do SEBAL, escrito na linguagem de programação Python e, executado no *Software* GRASS GIS, possui grandes semelhanças nas estimativas realizadas no *Software* ERDAS IMAGINE 2014, onde a correlação positiva entre as estimativas atingem o coeficiente  $r = 0,98$ , para a evapotranspiração. De uma forma geral, as estimativas acabaram sendo superestimadas, devido a resolução radiométrica das imagens, que no *software* ERDAS IMAGINE 2014 foi de 32 bits, já para o GRASS GIS a radiometria das imagens permaneceu nos 64 bits, dando diferenças nas casas decimais das imagens, tendo-se então, uma superestimativa dos valores.

De forma conclusiva, pode-se apontar a relevância das aplicações automatizadas do algoritmo SEBAL, devido a rápida realização do balanço de energia de forma completa, otimizando as análises tanto das componentes do balanço de energia, quanto da própria evapotranspiração, que por vezes torna-se um processo demorado e desgastante, devido ao processo “iterativo” do SEBAL, que é um momento onde deve-se haver uma grande atenção para não se cometer erros crassos, pois exige atenção para a manipulação dos dados iterativos, sobretudo na diferença da temperatura –  $dT$ , onde se insere as variáveis “a” e “b” a cada iteração no formato manual, executado no ERDAS.

Por fim, destaca-se a eficiência do balanço de energia executado de forma automática com a linguagem Python, por sua precisão e velocidade nos processos do (BE), podendo-se então, realizar estimativas temporais da evapotranspiração real -  $ET_r$ , em pouco tempo, havendo então, a possibilidade da execução de uma análise temporal em apenas um único dia, dando autonomia aos gestores de bacias hidrográficas e velocidade em tomada de decisão, devido a velocidade de produção de dados.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements.** FAO, Rome, 1998. 15 p. (**Irrigation and Drainage**, 56).
- ALLEN, R. G.; WATERS, R.; TREZZA, R.; TASUMI, M.; BASTIAANSSEN, W. SEBAL-Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation. **Advanced Training and Users Manual.** Version 1.0, 2002, 98 p.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 4, p. 380–394, 2007.
- ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B.; SANTOS, M. N.; FREITAS, I. G. F. Balanço de radiação através do satélite Landsat-8 na bacia do Rio Pajeú. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 117, 2017.
- ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. DE. Análise da variação espacial e temporal do índice de vegetação e sua relação com parâmetros climáticos na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba, Estado da Paraíba, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 530–553, 2015.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **A evolução da gestão de recursos hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2002.
- ANDRADE, S. C. D. P.; CORRÊA, J. A. D. J. Estimativa do saldo de radiação instantâneo à superfície para a cidade de Santarém-PA, através de imagens do Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 07, n. 4, p. 653–661, 2014.
- ARRAES, F. D. D.; DE ANDRADE, E. M.; DA 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.
- ATASEVER, U. H.; KESIKOGLU, M. H.; ÖZKAN, C. Evamapper: A novel MATLAB toolbox for evapotranspiration mapping. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 40, n. 7, p. 23–26, 2013.
- BARBOSA, A. H. D. S.; CARVALHO, R. G. DE; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 128, 2017.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212-213, p. 198-212, 1998.
- BASTIAANSSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: a remote sensing approach under clear skies.** 1995. 272 f. PhD Tesis. Mediterranean climates. 1995.
- BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated

Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, n. 1–2, p. 87–100, 2000.

BEG, A. A. F.; AL-SULTTANI, A. H.; OCHTYRA, A.; JAROCIŃSKA, A.; MARCINKOWSKA, A. Estimation of Evapotranspiration Using SEBAL Algorithm and Landsat-8 Data - A Case Study: Tatra Mountains Region. **Journal of Geological Resource and Engineering**, v. 4, n. 6, p. 257–270, 2016.

BEZERRA, B. G. **Balço de energia e evapotranspiraço em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL**. 2006. Dissertaço (Mestrado em Meteorologia) –Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiraço real diária utilizando-se imagens digitais TM -LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 305- 317, 2008.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.; BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. Evapotranspiraço e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, p.64- 71, 2012.

BHATTARAI, N.; SHAW, S. B.; QUACKENBUSH, L. J.; IM, J.; NIRLA, R. Evaluating five remote sensing based single-source surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in a humid subtropical climate. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 49, p. 75–86, 2016.

BHATTARAI, N.; QUACKENBUSH, L. J.; IM, J.; SHAW, S. B. A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. **Remote Sensing of Environment**, v. 196, p. 178–192, 2017.

BORGES, V. P.; DE OLIVEIRA, A. S.; DA SILVA, B. B. Mapeamento e Quantificação de Parâmetros Biofísicos e Radiação líquida em área de algodoeiro irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 485–493, 2010.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. D. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. Cap. 6, p. 153-192.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jan. 1997.

BRAZ, A. M.; ÁGUAS, T. D. A.; GARCIA, P. H. M. Análise de Índices de Vegetação NDVI e SAVI e Índice de Área Foliar (IAF) para a Comparação da Cobertura Vegetal Na Bacia Hidrográfica do Córrego Ribeirãozinho, Município De Selvíria – Ms. **Revista Percorso**, v. 7, n. 2, p. 5, 2015.

CARVALHO, T. R. A.; ALMEIDA, C. L.; ALMEIDA, A. M. M.; PORTO, M. F.; ARAÚJO, J. C. Índice de Área Foliar em Caatinga Preservada. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 35–42, 2017.

CATTANI, C. E. V.; SILVA, B. B.; OLDONI, L. V.; MERCANTE, E.; ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M. Estimativa da evapotranspiração real diária para o município de São Gabriel do Oeste-MS utilizando imagens orbitais. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 2, p. 13–24, 2017.

CAVALCANTE, L. B.; INÁCIO, A. S.; BARROS, H. G.; JIMÉNEZ, R. M. N.; COELHO, S. M. S. C. CÁLCULO DO SALDO DE RADIAÇÃO PELO ALGORITMO SEBAL NA PORÇÃO DO BAIXO-MÉDIO SÃO FRANCISCO, BRASIL, UTILIZANDO UM SOFTWARE DE CÓDIGO LIVRE. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 1515–1529, 2016.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2674–77, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edigard Blucher, 1980.

COELHO, V. H. R. **Estimativa da recarga subterrânea em bacia hidrográfica do semiárido pernambucano a partir de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. 1. ed. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2011.

COSTA, J. O.; COELHO, R. D.; WOLFF, W.; JOSÉ, J. V.; FOLEGATTI, M. V.; FERRAZ, S. F. B. Spatial variability of coffee plant water consumption based on the SEBAL algorithm. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 2, p. 93–101, 2019.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, A. M. B.; JESUS, J. S. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos Índices de Vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na bacia do rio Japarutuba-Mirim em Sergipe. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2011, Curitiba-PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p. 6869-6876.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. ANÁLISE TEMPORAL DO USO DO SOLO E COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E SAVI NO MUNICÍPIO DE SANTA CRUZ DO RIO PARDO – SP USANDO IMAGENS LANDSAT-5. **RAEGA**, v. 21, p. 234–271, 2011.

Department of the Interior U.S. Geological Survey. 2016. **Data Users Handbook 8(2.0)**.

DIAS, R. S.; SILVA, A. C. C.; FRACARO, C.; JUNIOR, C. J. B. 2014. Utilização de ferramentas livres para gestão territorial do nexo água e energia. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 30, p. 109–126, 2014.

DI PACE, F. T.; SILVA, B. B.; SILVA, V. DE P. R.; SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 385–392, 2008.

MALLMANN, C. L.; PRADO, D. A.; FILHO, W. P. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul - Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 5, p. 1454-1469, 2015.

FAUSTO, M. A.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2014.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia Prática**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. *In*: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 2, p. 31-71.

FILGUEIRAS, R.; MANTOVANI, E. C., ALTHOFF, D.; FERNANDES FILHO, E. I.; CUNHA, F. F. Crop NDVI Monitoring Based on Sentinel 1. **Remote Sensing**, v. 11, n. 12, p. 1441, 2019.

FOLHES, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. 2007. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

GARTLAND, Lisa. 2008. HEAT ISLANDS: UNDERSTANDING AND MITIGATING HEAT IN URBAN AREAS. London: Earthscan in the UK and USA.

GIATTI, L. L.; JACOBI, P. R.; FAVARO, A. K. M. DO I.; EMPINOTTI, V. L. O nexa água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 43–61, 2016.

GIONGO, P. R.; VETTORAZZI, C. A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 833–838, 2014.

GOMES, D. D. M. **Geoprocessamento aplicado a análise da vulnerabilidade à erosão na bacia hidrográfica do rio Jaibaras - Ceará**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

GOMES, DANIEL DANTAS MOREIRA. 2015. **Geoprocessamento Aplicado À Análise E Zoneamento Dos Sistemas Ambientais Da Bacia Hidrográfica Do Rio Mundaú - PE/AL**. 2015. Tese (Doutorado em Geologia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

GOMES, H. B.; CAVALCANTE, L. B.; SILVA JUNIOR, R.; S.; SANTOS, M. N. Temperatura da Superfície e Albedo na Região de Ilha Solteira, São Paulo. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, n. 1. p. 1–16, 2017.

GOMES, H. B.; SILVA, B. B.; CAVALCANTI, E. P.; ROCHA, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de são paulo mediante imagens landsat 5. **Geociências**, v. 28, n. 2, p. 153–164, 2009.

GOMES, L. C. F.; SANTOS, C. A. C. DOS; ALMEIDA, H. A. Balanço de Energia à Superfície para a Cidade de Patos - PB Usando Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 1, p. 15-28, 2013.

GOMES, H. B.; JUNIOR, R. S. S.; PACI, F. T.; LIMA, D. K. C.; CASTRO, P. H. P.; SANTOS, F. B.; CABRAL, S. L.; FERREIRA, R. A. Mapeamento Temático da Cobertura Vegetal na Microrregião do Sertão do São Francisco Alagoano, Utilizando Imagens TM LANDSAT 5. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 05, p. 1121-1132, 2012.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4. ed. Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 1972.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 1. ed. Rio de Janeiro-RJ: Bertrand Brasil, 1997.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 25, n. 3, p. 295–309, 1988.

IVO, I. O.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; PAVÃO, V. M. Influência do Desmatamento no Índice de Área Foliar e Temperatura da Superfície no Cerrado Mato-Grossense. **Nativa**, v. 6, n. 4, p. 364–369, 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

LATINI, J. R.; PEDLOWSKI, M. A. Examinando as contradições em torno das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fontes sustentáveis de energia no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 73–90, 2016.

LEE, Y.; SEONGJOON, K. The modified SEBAL for mapping daily spatial evapotranspiration of South Korea using three flux towers and Terra MODIS data. **Remote Sensing**, v. 8, n. 12, 2016.

LIMA, C. E. S.; SILVA, M. S. A.; MELO, D. H. C. T. B. ; GOMES, D. D. M. Geotecnologias aplicadas à detecção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Inhaúma PE/AL. In: Archimedes Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). **Os Desafios da Geografia Física Na Fronteira do Conhecimento**. 1ed. Campinas-SP: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017, v. 1, p. 5183-5191.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; LOPES, V. D.; SILVA, B. B. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. **Revista Ceres**, v. 61, n. 1, p. 17–27, 2014a.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **IRRIGA**, p. 64–75, 2017.

LONG, D.; SINGH, V. P. A modified surface energy balance algorithm for land (M-SEBAL) based on a trapezoidal framework. **Water Resources Research**, v. 48, n. 2, p. 1–24, 2012.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

MACHADO, C. C.; SILVA, B. B.; ALBUQUERQUE, M. B.; GALVÍNIO, J. D. Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 29, n. 1, p. 55–67, 2014.

MACHADO, P. J. D. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MAHMOUD, S. H.; ALAZBA, A. A. Integrated remote sensing and GIS-based approach for deciphering groundwater potential zones in the central region of Saudi Arabia. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, v. 75, n. 4, p. 1–28, 2016a.

MAHMOUD, S. H.; ALAZBA, A. A. Surface energy balance algorithm for land-based consumption water use of different land use-cover types in arid-semiarid regions. **Water Science and Technology: Water Supply**, London, v. 16, n. 6, p. 1497–1513, 2016b.

MAHMOUD, S. H.; ALAZBA, A. A. A coupled remote sensing and the Surface Energy Balance based algorithms to estimate actual evapotranspiration over the western and southern regions of Saudi Arabia. **Journal of Asian Earth Sciences**, v. 124, p. 269–283, 2016c.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017.

MARKHAM, B.; BARSÍ, J.; KVARAN, G.; ONG, L.; KAITA, E.; BIGGAR, S.; CZAPLA-MYERS, J.; MISHRA, N.; HELDER, D. Landsat-8 operational land imager on-orbit radiometric calibration. **Remote Sensing**, v. 2017- July, p. 4205–4207, 2017.

MARTINS, A. P. **Uso de Dados do Sensor Modis/Aqua e do Algoritmo Sebal para Estimativa da Evapotranspiração Real na Bacia do Rio Paranaíba**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2015.

MARTINS, A. P.; ROSA, R. . ESTIMATIVA DO ALBEDO DE SUPERFÍCIE UTILIZANDO IMAGENS MODIS/AQUA E O ALGORITMO SEBAL NA BACIA DO RIO PARANAÍBA - BRASIL. *In: XVII Simposio Internacional SELPER - Geotecnologías, herramientas para la construcción de una nueva visión del cambio global y su transformación para un futuro sostenible*, 2016, Puerto Iguazú Misiones. Libro de Actas del XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica. Luján: EdUnLu, 2016. p. 3045-3058.

MATOS, R. C. M.; CANDEIAS, A. L. B.; AZEVEDO, J. R. G.; HATTERMANN, F. F.; KOCH, H.; KLEINSCHMIT, B. ANÁLISE MULTITEMPORAL DO ALBEDO , NDVI E TEMPERATURA NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA – PE : ANOS DE 1985 E 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 3, n. 67, p. 545–554, 2015.

MATOS, R. C. DE M.; CANDEIAS, A. L. B.; AZEVEDO, J. R. G. DE. Estimativas do Saldo de Radiação Instantâneo no Entorno do Reservatório de Itaparica – PE Com Uso De Imagens Orbitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 3, n. 68, p. 641–654, 2016.

MENESES, P. R. Princípios de Sensoriamento Remoto. *In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto*. 1. ed. Brasília: UNB, 2012. Cap. 1, p. 1-33.

MENEZES, S. J. M. C.; SEDIYAMA, G. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; ANDRADE, R. G. Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo plano e montanhoso. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, p. 491-503, 2009.

- MOHAMED, Y. A.; BASTIAANSEN, W. G. M.; SAVENIJE, E. H. H. G. 2004. Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques". **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 289, n. 1–4, p. 145–64.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2011.
- MORAIS, Y. C. B.; ARAÚJO, M. S. B.; MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; MIRANDA, R. Q. Análise do Sequestro de Carbono em áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 585–599, 2017.
- MOREIRA, E.; B.; M.; NÓBREGA, R. S. SILVA, B. B.; RIBEIRO, E.P. O MODELO SEBAL PARA ESTUDOS DE CLIMA INTRAURBANO: APLICAÇÃO EM RECIFE, PERNAMBUCO, BRASIL. **RAEGA**, v. 39, p. 247–265, 2017.
- NORMAN, J. M.; KUSTAS, W. P.; HUMES, K. S. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 77, n. 3–4, p. 263–293, 1995.
- NERY, C. V. M.; OLIVEIRA, D. B.; ABREU, L. H. G. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS ÍNDICES NDVI OBTIDOS A PARTIR DOS SENSORES LANDSAT 5 - TM E RESOURCESAT - LISS III. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 160–167, 2013.
- PROFETA, A. L.; FARIA, S. D.; IMBUZEIRO, H. M. A. Estimativa da evapotranspiração real em área de relevo acidentado utilizando o SEBAL. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1437–1469, 2018.
- NOURI, H.; BEECHAM, S.; ANDERSON, S.; HASSANLI, A. M.; KAZEMI, F. Remote sensing techniques for predicting evapotranspiration from mixed vegetated surfaces. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 5, p. 380–393, 2015.
- NOVO, E. M. L. D. M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia Conceitos e Tecnologias Atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 8, p. 219–246.
- NOVO, E. M. L. D. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.
- OLIVEIRA, L. M. M. de. **Estimativa da evapotranspiração real por sensoriamento remoto na bacia do rio Tapacurá - PE**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012a.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 1, p. 1209–17, 2012.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. S. OLIVEIRA, L. M. M. DE et al. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1039–1046, 2014a.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; MOURA, A. E. S. S. **BALANÇO DE RADIAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO EM BACIA HIDROGRÁFICA DA ZONA DA MATA NORDESTINA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, p. 16–28, 2015a.**

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; COELHO, V. H. R.; GUSMÃO, A. C. V. L. Valores instantâneos dos fluxos de calor no solo, sensível e latente por geoprocessamento e SEBAL em bacia hidrográfica no estado de Pernambuco. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. p. 3852-3859b.**

OLIVEIRA, T. H.; DANTAS, J. G.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; BOTLER, M. Análise da Variação Espaço-Temporal das Áreas Verdes e da Qualidade Ambiental em Áreas Urbanas, Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 6, p. 1196–1214, 2014b.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C.C.C.; SILVA, J.S.; GALVÍNCIO, J.D.; PIMENTEL, R.M. de M.; SILVA, B. B. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 03, n. April 1992, p. 55–69, 2010.

OLIVEIRA, T.H.; OLIVEIRA, J. S. S.; MACHADO, C.C. C.; RODRIGUES, G. T. A.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, . M. M. Avaliação espaço-temporal do Índice de área foliar e impacto das atividades antrópicas na Reserva Ecológica Estadual Mata São João da Várzea, Recife – PE. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, 30 abril a 5 de maio 2011, INPE, p. 2105-2112.**

OLIVEIRA, T. H. de. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife – PE.** 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012 b.

OLIVEIRA, JOSEMARY SANTOS E SILVA. **Índices de Vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho, Pernambuco.** 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2013.

OWANEH, O. M.; SULEIMAN, A. A. Comparison of the Performance of ALARM and SEBAL in Estimating the Actual Daily ET from Satellite Data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 144, n. 9, p. 1–12, 2018.

PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, CA.; PAVÃO, L. L.; QUERINO, J. K. A. S.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Variação Espacial E Temporal Do Saldo De Radiação Superficial Em Uma Área Do Sul Do Amazonas, Brasil. **RAEGA**, v. 37, p. 333–352, 2016.

PROFETA, A. L. **Estimativa Da Evapotranspiração Real Em Área De Relevo Acidentado Utilizando O Sebal.** 2017. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017.

PROFETA, A. L.; FARIA, S. D.; IMBUZEIRO, H. M. A. Estimativa da evapotranspiração real em área de relevo acidentado utilizando o SEBAL. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 4, p. 1437–1469, 2018.

QUERINO, A. C. S. et al. AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E ALBEDO COM ÂNGULO ZÊNITAL NA REGIÃO AMAZÔNICA. **Revista Brasileira de Meteorologia** v. 21, n. 3, p. 42–49, 2006.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 1217–1229, 2012.

RIBEIRO L. J.; PEDLOWSKI, M. A. Examinando as contradições em torno das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fontes sustentáveis de energia no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 73–90, 2016.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do Sensoriamento Remoto. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 452–465, 2009.

ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, M. S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 25, n. 2, p. 147–157, 2000.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 301- 317, 1973.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. Greenbelt, MD: NASA/GSFC, 1974. 371p. Type III, Final Report.

RUHOFF, A. L. **Sensoriamento remoto aplicado à estimativa da evapotranspiração em biomas tropicais**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RUHOFF, A. L.; SILVA, B. B. DA; ROCHA, H. R. DA. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, v. 7, p. 4495–4502, 2015.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. **Mercator**, v. 9, n. 19, p. 143–163, 2010.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D., MOURA, M. S. B., SÁ, I. B. Uso do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para Caracterização da Cobertura Vegetal da Região do Araripe Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 1, n. 1, p. 28–38, 2008.

SÁ, P. C. C.; SOBRINHO, J. E.; SILVA, S. T. A.; FERREIRA, R. C.; MOURA, M. S. Estimativa do saldo de radiação em cultivo irrigado de cana-de-açúcar utilizando dados de sensoriamento remoto orbital. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 7, p. 2164–2178, 2016.

- SANTOS, C. A. C.; COSTA, M. V. G.; SILVA, M. T.; SILVA, L. L.; SANTOS, F. A. C.; BEZERRA, B. G.; MEDEIROS, S. S. Obtenção de Parâmetros Ambientais na Região Semiárida da Paraíba por Dados MODIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 633–647, 2017.
- SANTOS, C. A. C.; LIMA, J. R. A. Análise dos Efeitos da Expansão Urbana de Manaus-AM Sobre Parâmetros Ambientais Através de Imagens de Satélite. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 1, p. 001, 2018.
- SANTOS, J. C.; LEAL, I. R.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERNANDES, G. W.; TABARELLI, M. Caatinga: The scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, v. 4, n. 3, p. 276–286, 2011.
- SANTOS, T. V.; FONTANA, D. C.; ALVES, R. C. M. Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 488–496, 2010.
- SENAY, G. B. et al. Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 185, p. 171–85, 2016.
- SILVA, A. M.; DA SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Automated surface energy balance algorithm for land (ASEBAL) based on automating endmember pixel selection for evapotranspiration calculation in MODIS orbital images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 79, n. July 2018, p. 1–11, 2019.
- SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, SÉRGIO.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Sazonalidade do Controle de Evapotranspiração pela Cana-de-Açúcar Irrigada e Características Aerodinâmicas da Cultura no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 4, p. 612–634, 2013a.
- SILVA, P. P. L.; MACHADO, C. C. C.; SILVA, B. B.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal do IVAS e da temperatura da superfície no município de Serra Talhada - PE. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2013, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. p. 6869-6876.
- SILVA, B. B. da. **Balço de radiação com imagens TM - LANDSAT**. 2013.
- SILVA, A. M.; SILVA, R. M. DA; SILVA, B. B. DA. Determinação de Temperatura da Superfície e Estimativa do Saldo de Radiação e Evapotranspiração Usando Imagens Landsat e Dados Observados. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67/6, p. 1203–1216, 2015.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M.G. L. Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1218–1226, 2012.
- SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Alterações climáticas decorrentes de mudanças no uso da terra mediante sensoriamento remoto. **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 9 n. 1, p. 91–106, 2010a.

- SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; SILVA, B. B. Albedo De Superfície Estimado a Partir De Imagens Landsat 5 – TM No Semiárido Brasileiro. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, p. 154–168, 2010b.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço De Radiação No Perímetro Irrigado São Gonçalo - PB. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 145–152, 2011.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos componentes do balanço de energia à superfície com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3325-32.
- SILVA, B. B.; GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MACHADO, C. C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; S. B. M. MAGNA. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo - PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 57–64, 2013.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; JUNIOR, B. B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3–8, 2016.
- SILVA, J. L. B.; BEZERRA, A. C.; OLIVEIRA, J. D. A.; LINS, F. A. C.; ORTIZ, P. F. S.; MOURA, G. B. A. Variabilidade espaço-temporal de parâmetros biofísicos e da evapotranspiração por sensoriamento remoto em região semiárida. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 7, n. 3, p. 11, 2017.
- SILVA, B. B.; MERCANTE, E.; BOAS, M. A. V.; WRUBLACK, S. C.; OLDONI, L. V. Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL model. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 49, n. 2, p. 221–227, 2018.
- SILVA, L. G. DA; GALVÍNCIO, J. D. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 6, p. 1446–1456, 2013.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P.; V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 - TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243–252, 2005.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos componentes do balanço de energia à superfície com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2005, Goiânia-GO, Brasil, 16 a 21 de abril de 2005, INPE. p. 6869-6876.
- SILVA, B. B.; ARAUJO, F. C.; MERCANTE, E.; BOAS, M. A. V.; WRUBLACK, S. C. Estimativa da evapotranspiração real diária para a microbacia do rio das Lontras utilizando algoritmo SEBAL e imagens Landsat 8. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2015, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, p. 3903–3910.
- SILVA, B. B.; CATTANI, C.E. V.; OLDONI, L. V.; MERCANTE, E.; ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M. Estimativa de evapotranspiração real diária para o município de São Gabriel do Oeste utilizando algoritmo SEBAL e imagens Landsat 8. **Anais... 6º Simpósio de**

Geotecnologias no Pantanal, 2016, Cuiabá-MT, Brasil, 22 a 26 de outubro 2016, Embrapa Informática Agropecuária/INPE. P. 197-206.

SILVA, C. L.; NOWAKOWSKI, G. A. A.; SANTOYO, A. H.; LEON, V. E. P. Análise de possibilidade de expansão das Pequenas Centrais Hidroelétricas no Brasil: um estudo dos limitantes e potencialidades da cadeia produtiva à luz da sustentabilidade. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 37, p. 47–72, 2016a.

SILVA, L. C.; CUNHA, J. M.; MACHADO, N. G.; CAMPOS, M. C. C.; BIUDES, M. S. Estimativa do balanço de radiação por sensoriamento remoto de diferentes usos de solo no sudoeste da Amazônia brasileira. **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 1, p. 131–146, 2016b.

SILVEIRA, A. L. L. D. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciências e Aplicações**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2014. Cap. 2, p. 35-51.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 - TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243–252, 2005.

SOUSA, I. F.; NETTO, A. O. A.; SILVA, B. B. Balanço de Radiação e Energia no Perímetro Irrigado Califórnia-SE Mediante Imagens Orbitais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 07, n. 6, p. 1165–1172, 2014.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Crescimento e Produtividade do Milho e Feijão-Caupi em Diferentes Sistemas e Disponibilidade Hídrica no Semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 3, p. 524–539, 2014.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 1, p. 41–55, 2015.

SU, Z. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 6, n. 1, p. 85–100, 2002.

SUN, Z.; WEI, B.; SU, W.; SHEN, W.; WANG, C.; YOU, D. Evapotranspiration Estimation based on the SEBAL Model in the Nansi Lake Wetland of China. **Mathematical and Computer Modelling**, V. 54, N. 3–4, P. 1086–1092, 2011.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1-3, p. 31–42, 2007.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 148, n. 10, p. 1524–37, 2008.

TEIXEIRA, A. H. C., et al. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 462–76, 2009a.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part B: Application to the regional scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 3-4, p. 477–90, 2009b.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining Regional Actual Evapotranspiration of Irrigated Crops and Natural Vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) Using Remote Sensing and Penman-Monteith Equation. **Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 1287–1319, 2010.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Large-scale radiation and energy balances with Landsat 8 images and agrometeorological data in the Brazilian semiarid region. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 11, n. 1, p. 1-17, 2017.

TERAMOTO, E. H.; BENJUMEA, M. T.; GONÇALVES, R. D.; KIANG, C. H. Séries Temporais do Índice NDVI na Avaliação do Comportamento Sazonal do Aquífero Rio Claro. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 1135–1157, 2018.

TREZZA, R. **Evapotranspiration using a Satellite-Based Surface Energy Balance with standardized ground control**. Theses (Doctor of Philosophy) - Utah state university, Logan, 2002.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; KOBİYAMA, M. Mapeamento do Saldo de Radiação da Bacia do Alto Rio Negro, Região Sul Brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 2, p. 249–258, 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Data Users Handbook 8(2.0), 2016.

VALERIANO, M. D. M. **Modelos Digitais de Elevação de Microbacias Elaborados com Krigagem**. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José do Campos-SP, p. 56. 2002.

WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; MOREIRA, E. B.; LUCENA, J. A. Variação dos Índices de Vegetação da Caatinga no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Taperoá. In: PEREZ, F. O.; AMORIM, R. R. (Org.). **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. 1. ed. Campinas: UNICAMP, 2017. p. 4988–5000.

WARREN, M. S.; TEIXEIRA, A. H. C.; RODRIGUES, L. N.; HERNANDEZ, F. B. T. Utilização do Sensoriamento Remoto Termal na Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 07, n. 01, p. 065–082, 2014.