



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE EDUCAÇÃO - CEDUC
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOAMBIÊNCIA E RECURSOS HÍDRICOS
DO SEMIÁRIDO**

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE
ENERGIA PARA A ZONA URBANA DE PATOS - PB A PARTIR DE
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

CAMPINA GRANDE – PB
2012

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE
ENERGIA PARA A ZONA URBANA DE PATOS - PB A PARTIR DE
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de especialista.

Orientador: Prof^o Dr. Hermes Alves de Almeida

CAMPINA GRANDE – PB
2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

G633d	<p>Gomes, Lidiane Cristina Félix. Distribuição espacial dos componentes do balanço de energia para a zona urbana de Patos-PB a partir de técnicas de sensoriamento remoto [manuscrito] / Lidiane Cristina Félix Gomes. - 2012.</p> <p>62 f.: il. color.</p> <p>Monografia (Especialização em geoambiência e recursos hídricos do semiárido) – Universidade Estadual da Paraíba, CEDUC, 2012. “Orientação: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, Departamento de Geografia”.</p> <p>1. Energia solar. 2. Sensoriamento remoto. 3. Meio ambiente. I. Título.</p> <p>21. ed. CDD 333.79</p>
-------	---

TERMO DE APROVAÇÃO

LIDIANE CRISTINA FÉLIX GOMES

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE
ENERGIA PARA A ZONA URBANA DE PATOS - PB A PARTIR DE
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada ao Departamento de Geografia da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento dos requisitos necessários para a obtenção do título de Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido.

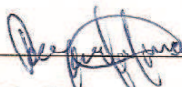
Aprovada em : 24/02/2012

BANCA EXAMINADORA:



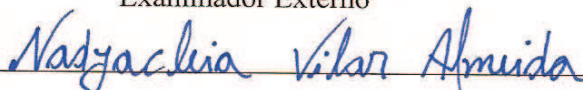
Prof.º Dr. Hermes Alves de Almeida

Orientador



Ms. Raimundo Mainar de Medeiros

Examinador Externo



Prof.ª Ms. Nadjacleia Vilar Almeida

Examinadora Interna

DEDICATÓRIA

A vocês, a minha avó Lidia Lira, aos meus pais Rossana Félix e Aluizio Firmino, ao meu esposo Jessé Júnior, aos meus filhos Gabriel Félix e Sofia Félix, a minha tia Cláudia Lira, meus irmãos Márcia Félix, Aluizio Júnior e Bruno Matheus, aos meus sobrinhos Mateus Félix e Rafael Nascimento, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus que permitiu a concretização desse sonho realizado.

Ao meu grande orientador Professor Dr. Hermes Almeida pelo tempo dedicado, pela paciência e pela colaboração na redação deste trabalho.

Ao professor Carlos Antonio, pelo qual tenho muito carinho e admiração, que me transmitiu conhecimentos imprescindíveis para a finalização do trabalho monográfico.

Aos meus familiares pela paciência e carinho a mim destinados.

Aos professores da especialização que com muito zelo e dedicação permitiram a aquisição de novos conhecimentos e ampliaram o campo de visão de mercado de trabalho e pesquisa.

Aos funcionários da instituição que sempre estavam dispostos a solucionar qualquer problema.

Aos meus queridos amigos da especialização que em todos os momentos foram carinhosos, companheiros e leais.

Ao professor João Damasceno que cultivou em mim um sentimento de carinho, amizade e muita admiração.

A professora Nadjacleia pela qual tenho profundo respeito, carinho e muita admiração pelo ser humano bonito, pela profissional extremamente competente e qualificada que me transmitiu muitos conhecimentos durante o curso.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Estimativa Dos Componentes Do Balanço De Energia.....	13
2.2	Sensoriamento Remoto Aplicado aos Estudos Ambientais.....	18
2.3	Satélite Landsat – 5TM.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	Caracterização da Área de Estudo.....	25
3.2	Procedimentos Metodológicos.....	26
3.3	Georreferenciamento e o Uso do Algoritmo Sebal.....	26
3.4	SEBAL.....	27
3.4.1	Radiância Espectral.....	29
3.4.2	Reflectância.....	31
3.4.3	Albedo Planetário.....	32
3.4.4	Albedo da Superfície.....	33
3.4.5	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).....	33
3.4.6	Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI).....	34
3.4.7	Índice de Área Foliar (IAF).....	34
3.4.8	Emissividades.....	34
3.4.9	Temperatura da Superfície.....	35
3.4.10	Radiação de Onda Longa Emitida.....	35
3.4.11	Radiação Global Incidente.....	35
3.4.12	Radiação de Onda Longa Incidente.....	36
3.4.13	Saldo de Irradiância à Superfície (Rn).....	36
3.4.14	Fluxo de Calor no Solo.....	36
3.4.15	Fluxo de Calor Sensível.....	37

3.4.16	Fluxo de Calor Latente (LE).....	38
3.4.17	Evapotranspiração Diária (mm.dia ⁻¹).....	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5	CONCLUSÕES.....	55
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de propagação da radiação eletromagnética. Fonte: (Barbosa, 2004).	13
Figura 2. Interações da radiação eletromagnética com a superfície e sensores de satélite. Fonte Adaptada por (Barbosa, 2004).	14
Figura 3. Espectro da radiação eletromagnético, enfatizando os respectivos comprimentos de onda e as frequências. Fonte: http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/	15
Figura 4. Esquema dos componentes do saldo de radiação. Fonte: (Bezerra, 2006).	17
Figura 5. Comportamento espectral da vegetação sadia, do solo desnudado e da água limpa. Fonte: LILLESAND et al. (1995).	20
Figura 6. Evolução do sistema de satélite Landsat de acordo com a cronologia de lançamentos e termino das operações. Fonte: (JENSEN, 2009).	21
Figura 7. Plataforma do Landsat 5TM. Fonte: INPE, 2008.	22
Figura 8. Mapa geográfico do Estado da Paraíba, com destaque para a cidade de Patos.	25
Figura 9. Tela de visualização do georreferenciamento da imagem alvo de estudo.	27
Figura 10. Fluxograma com os procedimentos e etapas do algoritmo Sebal para obtenção dos componentes do balanço de energia.	28
Figura 11. Imagem de radiância espectral com composição de cores RGB 541.	30
Figura 12. Fluxograma do modelo para obtenção da radiância a partir do Erdas.	30
Figura 13. Imagem de reflectância, com composição de Cores RGB432.	32
Figura 14. Fluxograma com etapas do processo interativo para obtenção do fluxo de calor sensível.	38
Figura 15. Mapa temático do albedo da superfície da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010. .	40
Figura 16. Histograma de frequência do albedo da superfície da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	41
Figura 17. Mapa temático do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	43
Figura 18. Mapa temático do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) da cidade de Patos-	

PB, em 28.08.2010.	44
Figura 19. Mapa temático do índice de área foliar da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010. .	45
Figura 20. Mapa temático da temperatura da superfície da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	46
Figura 21. Mapa temático de irradiância de ondas longas emitida na cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	47
Figura 22. Mapa temático do saldo de irradiância à superfície na cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	48
Figura 23. Mapa de fluxo de calor no solo da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	50
Figura 24. Mapa temático do fluxo de calor sensível da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	51
Figura 25. Mapa do fluxo de calor latente da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	52
Figura 26. Mapa temático da evapotranspiração diária da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.	53
Figura 27. Distribuição espacial do albedo planetário.	61
Figura 28. Mapa temático das Emissividades E0 e Enb1.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Albedo de algumas superfícies e suas respectivas porcentagens. Fonte: Adaptada de (Moreira, 2003).	16
Tabela 2. Características do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, com resolução temporal de 16 dias.Fonte: Adaptada de (Engesat, 2000).	23
Tabela 3. Principais aplicações das bandas do satélite Landsat 5.Fonte: Adaptada de (Engesat, 2000).	24

RESUMO: A energia solar é vital para a vida na Terra e a quantidade que chega a superfície conduz o modo de vida das pessoas. Tornou-se de interesse comum avaliar a quantidade de energia que incide sobre os alvos, quanto é absorvido, refletido, ou até mesmo transmitido, como se comporta cada alvo observado diante dessa dinâmica e no que interfere o aumento ou redução dessa energia para o cotidiano dos seres vivos. Diante de novos métodos de aquisição de informação, este estudo objetiva a obtenção dos componentes do balanço de energia utilizando técnicas de geoprocessamento e o algoritmo SEBAL - "Surface Energy Balance Algorithms for Land", como também a importância da análise espacial no monitoramento de áreas urbanas para a cidade de Patos na Paraíba, localizada no semiárido nordestino.

Palavras-Chave: Energia, Sensoriamento Remoto, Meio Ambiente

ABSTRACT: Solar energy is vital for life on Earth and the amount that reaches the surface leads the way of life. It became common interest to evaluate the amount of energy that focuses on the targets, how much is absorbed, reflected, or even transmitted, how it behaves on each target observed that dynamic and that interferes the increase or decrease this energy for everyday of living beings. Faced with new methods of information acquisition, this study aims to obtain the components of energy balance using geoprocessing techniques and algorithm SEBAL - "Surface Energy Balance Algorithms for Land", but also the importance of spatial analysis in urban areas for monitoring Ducks in the city of Paraíba, located in the semiarid northeast.

Keywords: Energy, Remote Sensing, Environment

1 INTRODUÇÃO

Fluxos radiativos e não-radiativos de energia na interface superfície terrestre-atmosfera caracterizam as trocas energéticas que determinam os regimes térmicos do solo, da vegetação e do ar atmosférico. Esses componentes podem ser estimados utilizando tecnologias avançadas, como a do sensoriamento remoto, por exemplo, além do baixo custo financeiro, ou até, sem nenhum custo a depender da escolha das imagens de satélite.

Machado et al., (2010) relataram que em estudos ambientais usando-se técnicas de sensoriamento remoto e imageamento por satélite há necessidade de algoritmos para estimar elementos da superfície terrestre. Bastiaanssen (2000) cita que o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) é um algoritmo que permite a determinação de mapas dos componentes do balanço de energia á superfície, incluindo a evapotranspiração de grandes áreas. Os processamentos digitais das imagens de satélites são executados por meio de rotinas computacionais que quantificam os referidos componentes do balanço de energia (Menezes et. al., 2011)

No entanto, estimar o balanço de energia é mais do que necessário é imprescindível nos estudos de modelagem meteorológica, hidrológica e no manejo hídrico da agricultura irrigada (Bezerra et al., 2008). Alguns autores já tem comprovada eficácia dessa tecnologia, como Naglera et al., (2005) estimou a evapotranspiração usando dados meteorológicos e mapa da mata ciliar e imagens de satélite. Com relação à estimativa dos componentes do balanço de energia, Coltri et al., (2007) destacou a importância de estimar a evapotranspiração que subsidiou o estabelecimento de ilhas de calor urbano, por ser esse elemento relacionado diretamente com a energia disponível à superfície.

A falta de planejamento de algumas cidades brasileiras culmina com crescimento desordenado e tem contribuído para o crescimento das ilhas de calor, especialmente, nas médias e grandes cidades, causando transtornos a população e, conseqüentemente, alterando o modo e qualidade de vida das pessoas. Em algumas dessas localidades os gestores sabem dessa realidade, além de terem instrumentos normativos para equacioná-los. Há também pesquisadores que detêm o conhecimento tecnológico necessário para compreender a dinâmica do ecossistema urbano, mas não tem poder legal para ordenar as ações antrópicas de

ocupação do espaço físico ou, até mesmo, de mitigar ações devastadoras da cobertura da superfície do solo que altera de forma direta o balanço de energia e, portanto, a temperatura do ar e demais dados derivados.

A cidade de Patos- PB, não se isenta da falta de planejamento urbano que ocorre na maioria das cidades brasileiras de porte médio. Além disso, não se conhece as principais alterações no clima urbano, diretamente relacionado ao balanço de energia à superfície, advindas da substituição da cobertura vegetal nativa por abertura de novas ruas, avenidas, edificações, dentre outras que modificam as características de reflectância da superfície e, conseqüentemente, os principais componentes do balanço de energia.

Diante disto, houve a necessidade de quantificar os principais componentes do balanço de energia à superfície da cidade de Patos- PB utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto a partir de imagens do satélite landsat 5 – TM e com aplicação do algoritmo Surface Energy Balances Algorithms for Land (SEBAL), tendo como objetivo principal determinar os componentes do balanço de energia para a zona urbana de Patos- PB, utilizando-se o algoritmo Sebal e imagens de satélites Landsat 5. E entre os específicos determinar a variação do albedo da superfície urbana de Patos e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), determinar os índices de vegetação ajustada ao solo (SAVI) e de área foliar (IAF), elaborar mapas temáticos dos componentes do balanço de energia: fluxos de calor sensível e latente à superfície da área urbana de Patos- PB e estimar a evapotranspiração usando o algoritmo Sebal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estimativa Dos Componentes Do Balanço De Energia

O balanço de energia compreende os fluxos de entrada e saída em um sistema. A primeira lei da termodinâmica trata do princípio da conservação de energia, no qual de acordo com Paraná (1993), energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada ou transferida. As fontes de energia ou ondas de energia consistem basicamente nas entradas e saídas no sistema em observação.

De acordo com Novo (2010) existem duas teorias que explicam a propagação da radiação eletromagnética (REM) e sua interação com a matéria, que são os modelos ondulatório e o corpuscular. A teoria ondulatória foi proposta por Maxwell, em meados de 1860, e conforme Jensen (2009), Maxwell concebeu a REM como uma onda eletromagnética que se propaga no espaço vazio na velocidade da luz, cuja visualização é mostrada na Figura 1.

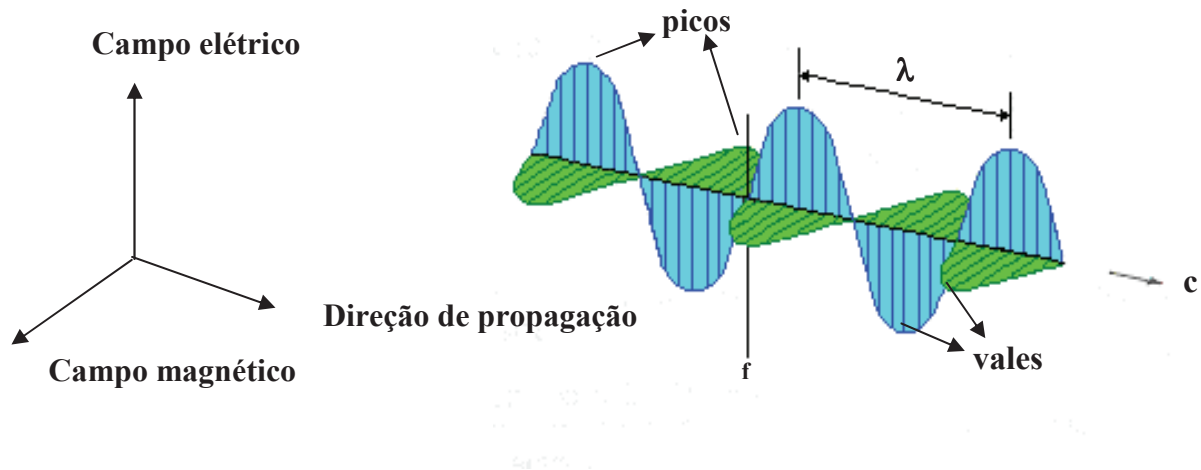


Figura 1. Modelo de propagação da radiação eletromagnética. Fonte: (Barbosa, 2004).

Costa Filho (2007) afirmou que os processos de troca de calor e massa que ocorrem na superfície da Terra são de fundamental importância para a redistribuição da umidade e calor

no sistema solo-planta-atmosfera, processos esses que têm como principal força motriz a irradiância solar.

O fluxo de irradiância solar ao atingir uma superfície ou objeto, poderá ser refletida, absorvida e/ou reemitido (Rosa, 2007). A Figura 2 mostra um fluxograma da radiação eletromagnética interagindo com a atmosfera, superfície do solo e sensores de satélite.

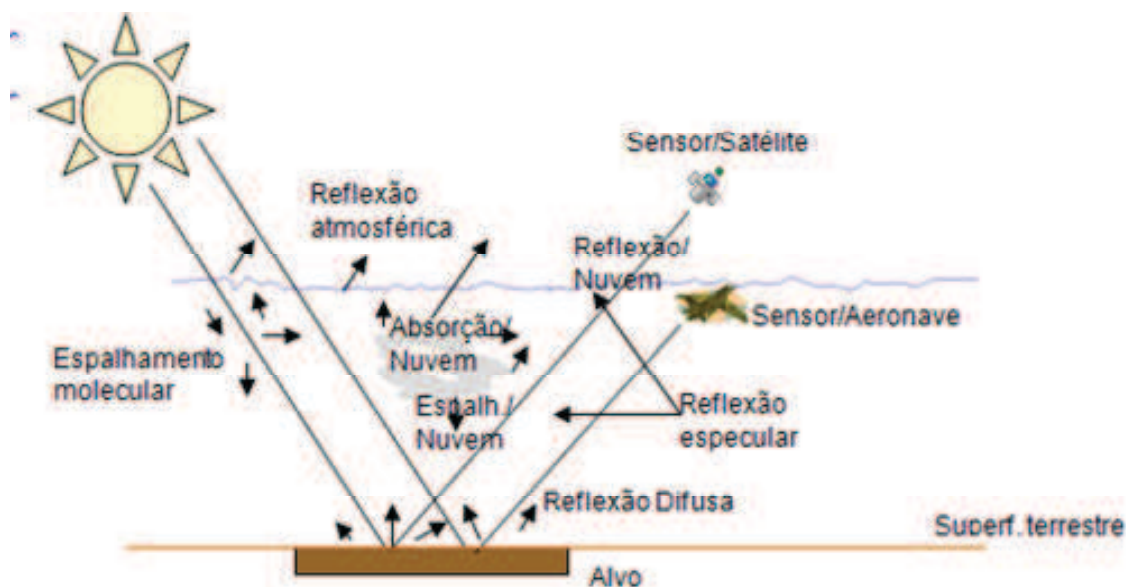


Figura 2. Interações da radiação eletromagnética com a superfície e sensores de satélite. Fonte Adaptada por (Barbosa, 2004).

Com relação aos processos de troca de calor e massa, Costa Filho (2007) complementa que parte da energia absorvida é re-emitida como radiação termal, e o restante desse balanço é conhecido como saldo de radiação, usado para aquecer a superfície, o ar atmosférico e promover a evaporação da água.

A intensidade da energia proveniente do sol não chega com a mesma intensidade sobre os alvos (água, solo, vegetação, áreas urbanas e seus respectivos materiais). O espectro eletromagnético é a ordenação cronológica do aspecto ondulatório e compreende desde os raios cósmicos até as ondas de rádio como mostra a Figura 3.

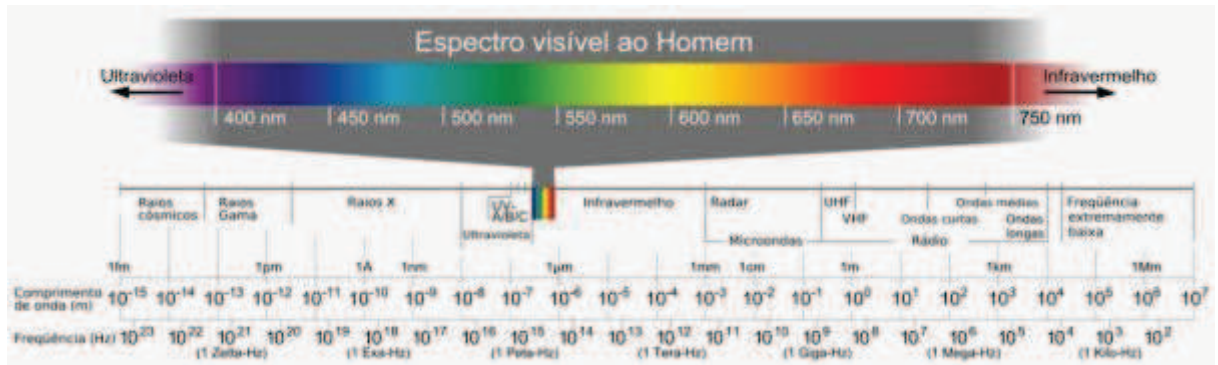


Figura 3. Espectro da radiação eletromagnética, enfatizando os respectivos comprimentos de onda e as frequências. Fonte: <http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/>

Estimar os componentes do balanço de energia ou alguns deles utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto já vem sendo empregado em vários estudos, tais como: o cálculo do balanço de energia, temperatura da superfície, índices de vegetação, evapotranspiração, dentre outros. Lima et al., (2009) estimou os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense, utilizando-se o Algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL).

Inicialmente o SEBAL, conforme Tasumi (2003) foi desenvolvido em meados de 1995 por Bastiaanssen e validado em vários ecossistemas mundiais, como Egito, Espanha, Portugal, França, Itália, Argentina, China, Índia, Paquistão, Nigéria, Zâmbia, Etiópia, Estados Unidos, Novo México, entre outros.

Bezerra (2006) afirma que os principais produtos obtidos com o uso do SEBAL são: o consumo de água, ou a evapotranspiração real (não a de referência ou potencial) e a produção de biomassa de culturas agrícolas e vegetação nativa, pixel a pixel.

Nessa mesma linha de pesquisas, há inúmeros resultados. Machado, Galvêncio e Oliveira (2010), estimaram o saldo de radiação e fluxo de calor no solo para São José do Sabugi, na Paraíba, considerado um polo potencial de desertificação no estado da Paraíba.

O algoritmo SEBAL tem sido amplamente utilizado em diversas áreas de estudos ambientais e com resultados promissores (Trezza, 2002; Silva et al., 2005; Teixeira et al., 2009).

Silva (2005, 2008), descreveu as principais etapas para obtenção dos componentes do balanço de energia, usando-se o SEBAL, entre elas:

A Irradiância, Reflectância, Albedo planetário e da superfície, Transmissividade atmosférica, Índices de vegetação, Emissividades, Temperatura à superfície, Radiação de onda curta, Radiação de ondas longa, Saldo de radiação, Fluxo de calor no Solo, Fluxo de calor sensível, Fluxo de calor latente e a Evapotranspiração.

Existem duas abordagens para os tipos de albedo, de acordo com as propriedades física: O albedo planetário e o da superfície. No albedo planetário cerca de 30% da energia radiante do Sol que incide sobre a Terra é refletida de volta ao espaço. Essa fração refletida é denominada de albedo planetário (Veissid & Pereira, 2000). Já o albedo da superfície compreende a razão entre as irradiâncias refletida e incidente. De acordo com Mendonça et al.,(2010), é de suma importância especificar o albedo como uma função do tipo de cobertura da Terra e do ângulo zenital solar e que seja distribuído no espaço e no tempo em uma grande região. A Tabela 1 compreende as porcentagens de albedo de algumas superfícies.

Tabela 1. Albedo de algumas superfícies e suas respectivas porcentagens. Fonte: Adaptada de (Moreira, 2003).

Superfícies	Albedo (%)
Solo arado úmido	15
Areia branca	37
Solo escuro	10
Solo claro	27
Água	5
Gramma	24
Algodão	21
Feijão	24

Chaves, Domingos & Andrade (2009) relacionaram os índices de albedo da superfície com a precipitação pluviométrica na bacia do Forquilha no Ceará numa análise temporal de 20 anos e obtiveram como resultados uma redução do albedo em alguns anos,

indicando que houve recuperação da paisagem natural, porém no último ano analisado, foi indicado um aumento nos índices de albedo próximo a bacia, o que foi sinalizado como retirada da mata ciliar no local.

Os índices de vegetação podem ser obtidos a partir de vários métodos, como é o caso de Rosembach, Silva & Florenzano (2005) que relacionaram imagens do satélite Landsat 5 e o Cbres 2 para avaliar o NDVI para uma zona urbana com fim de relacionar posteriormente com as áreas mais quentes dentro da cidade. Já Santiago et al., (2009) obtiveram três índices de vegetação o NDVI, o SAVI e o IAF entorno de uma barragem fonte de abastecimento da população de Botafogo - PE e puderam constatar que os índices apresentaram valores diferenciados, cada qual se destacando com as informações apresentadas, como o NDVI, que apresentou mudanças nos alvos de vegetação, o IAF se destacou como ferramenta promissora no monitoramento de culturas e o SAVI identificou áreas com maior solo exposto.

O saldo de radiação (R_n) é obtido como a diferença entre os fluxos de radiação incidentes, refletidos e/ou emitidos, incluindo ambas as radiações de onda longa e de onda curta à superfície da Terra e representa a principal fonte de energia utilizada pelos processos físicos, químicos, biológicos e meteorológicos à superfície e às camadas inferiores da atmosfera (Bezerra, 2006) e pode ser observado sua aquisição na Figura 4.

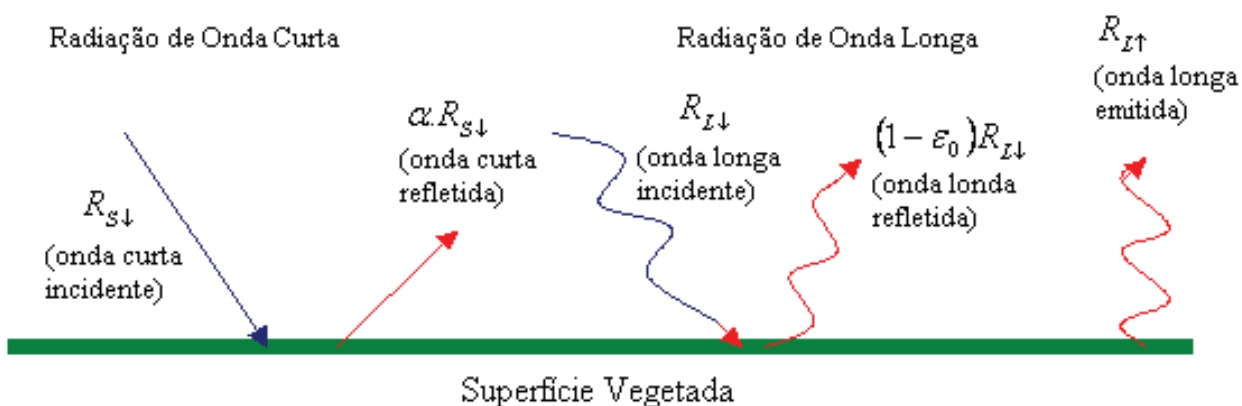


Figura 4. Esquema dos componentes do saldo de radiação. Fonte: (Bezerra, 2006).

Podendo ser calculado, conforme Bezerra (2006) pela equação 1 e tem seus componentes auto-implicados na Figura 4.

$$R_n = R_{S\downarrow} - \alpha \cdot R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\downarrow}$$

Aplicar o algoritmo não necessariamente implica em se computar todas as etapas do balanço de energia, dependerá somente do objetivo a ser abordado na pesquisa. Gomes et al., (2011) utilizaram dessa tecnologia para avaliar a quantidade de vegetação ao longo dos anos na cidade de Patos na Paraíba. Moreira (2011) usou o SEBAL para identificar de ilhas de calor no estado de Pernambuco, na cidade de Recife, e encontrou que houve um aumento na temperatura ao longo dos anos, e creditou que o aumento de temperatura ocorreu devido ao maior adensamento construtivo e redução da cobertura vegetal na cidade.

Pace et al., (2008) aborda uma questão de grande relevância nos estudos da obtenção dos componentes de energia, que são as condições de relevo local, que no caso de um relevo ondulado, com grandes variações de altitude, se faz necessário a utilização do modelo de elevação digital do terreno (MDE), e o mesmo enfatiza que a omissão dos aspectos topográficos poderá alterar os resultados na estimativa do saldo de radiação.

Lucas et al., (2009) afirmam que o SEBAL juntamente com as técnicas e tecnologias associadas ao geoprocessamento podem ser largamente utilizadas no planejamento e gestão do uso do solo e dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, conforme foi apresentado em suas pesquisas a obtenção e espacialização do albedo e o NDVI na bacia de drenagem do açude Soledade na Paraíba.

2.2 Sensoriamento Remoto Aplicado aos Estudos Ambientais

Desde os primórdios o homem tenta desbravar a Terra e se exaurir de conhecimentos com o intuito de sanar sua curiosidade acerca da natureza e de melhor administrar o local onde se vive, visando a supremacia do poder com lucratividades financeiras.

Cientistas observam a natureza, fazem medições e depois tentam aceitar ou rejeitar hipóteses referentes aos fenômenos inerentes à natureza. A coleta de dados pode ocorrer diretamente no campo, chamada coleta de dados in situ ou in loco, ou alguma distância remota do objeto em apreço, referida como sensoriamento do ambiente (JENSEN, 2009).

O sensoriamento remoto e sua origem apresentam diversas visões de autores em suas obras, de fato foi impulsionado pela descoberta da fotografia e de acordo com Jensen (2009) foi em 1826 que Joseph Nicephore Niepce tira sua primeira fotografia. Já Novo (2010) em uma de suas obras afirma a primeira notícia da obtenção da fotografia ocorreu em 1839, com Niepce, logo após, em 1840, seu uso já era recomendado para levantamentos topográficos.

No decorrer da história com os aperfeiçoamentos dos filmes fotográficos, máquinas fotográficas e das plataformas orbitais onde se adquirem as imagens que representam os elementos da superfície da Terra, pode se observar um grande avanço tecnológico na área das geociências, os satélites equipados com sensores capazes de obter diversas informações dos objetos na Terra em esferas distintas e tendo seus produtos aplicados em áreas como meio ambiente, meteorologia, agricultura, turismo, ensino e pesquisa, empreendimentos imobiliários, gestão de territórios, entre outras áreas não menos importantes como as citadas.

A tecnologia do sensoriamento remoto vem sendo bastante utilizada e aceita para diversas finalidades, que de acordo como os seus vários conceitos, consiste na obtenção de informações sobre os alvos na superfície terrestre, sem que haja o contato físico com eles (JENSEN, 1986).

Para que haja um melhor entendimento da abrangência do sensoriamento remoto, Novo (2010) conceitua como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de veículos como espaçonaves ou outras plataformas, cujo objetivo é estudar os fenômenos e processos que ocorrem na Terra mediante interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõe em suas inúmeras manifestações.

Os alvos presentes na superfície da Terra ao entrarem em contato com a radiação eletromagnética desenvolvem uma interação entre ambas. Conforme Figura 5, há dois processos essenciais, a absorção e reflexão, vislumbrando o comportamento espectral de elementos fundamentais no estudo, como o solo, a água e a vegetação.

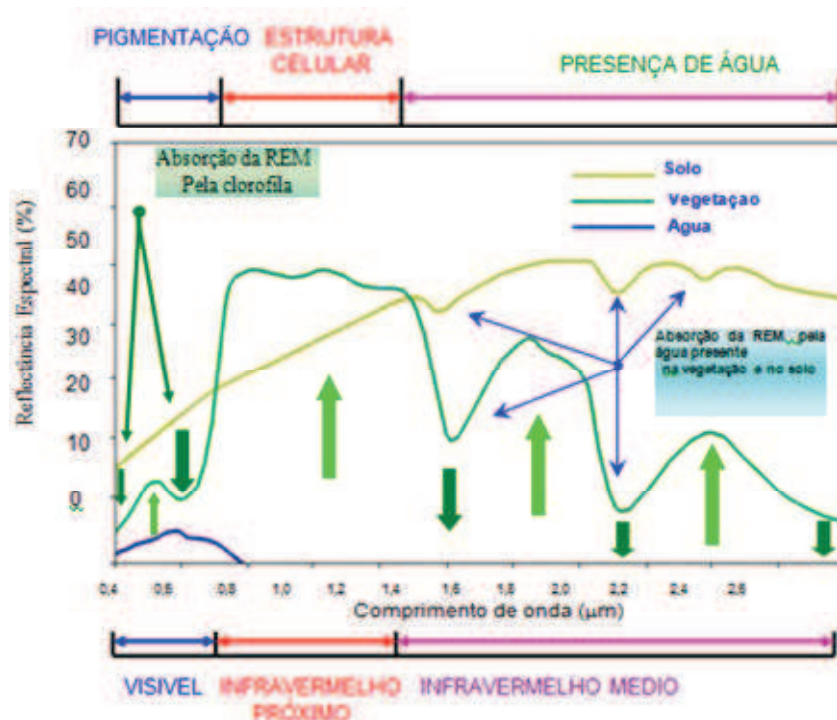


Figura 5. Comportamento espectral da vegetação sadia, do solo desnudado e da água limpa. Fonte: LILLESAND et al. (1995).

Um das vantagens do uso dessa tecnologia é a larga abrangência em termos de área, a gratuidade das imagens de alguns satélites, como o Landsat, devido ao grau de complexidade e altos custos nas obtenções das medidas diretas de evapotranspiração. Pereira et. al., (1997), citam que para medir evapotranspiração são necessário instalações e equipamentos especiais que ocasionam custos onerosos, inviabilizando estudos e se adequando somente em condições experimentais.

Com um futuro promissor o sensoriamento remoto se destaca na obtenção da evapotranspiração e vários estudos vêm comprovando sua eficiência, que segundo Bezerra et. al (2008) propicia a determinação em áreas com grande heterogeneidade e dimensão, ao contrário de métodos micrometeorológicos.

A estimativa da evapotranspiração usando a citada tecnologia é fundamentada a partir de rotinas computacionais aliadas a formulas matemáticas denominadas de algoritmos.

Entre os algoritmos aplicados para a obtenção da evapotranspiração, cita-se o Sebal que pode ser interpretado como um modelo matemático sequenciado a partir de fórmulas impulsionadas a seguir uma rotina de tarefas comandadas pelo o usuário com o intuito de adquirir um novo produto.

2.3 Satélite Landsat – 5TM

O uso de satélite aplicado para os recursos naturais da Terra teve seu início em meados dos anos 70 a partir do satélite Earth-1 que logo após foi denominado Landsat. Um satélite é um equipamento colocado em órbita pelo homem de forma a obter informações da superfície da Terra (Rosa, 2007).

De acordo com Jensen (2009), o satélite Landsat 5 TM, desenvolvido pela NASA, foi lançado em 1 de março de 1984 com objetivo de obter dados espectrais e temporais da superfície da Terra em uma esfera global. A evolução de datas de lançamentos e fim de operações do satélite Landsat são mostrados na Figura 6.

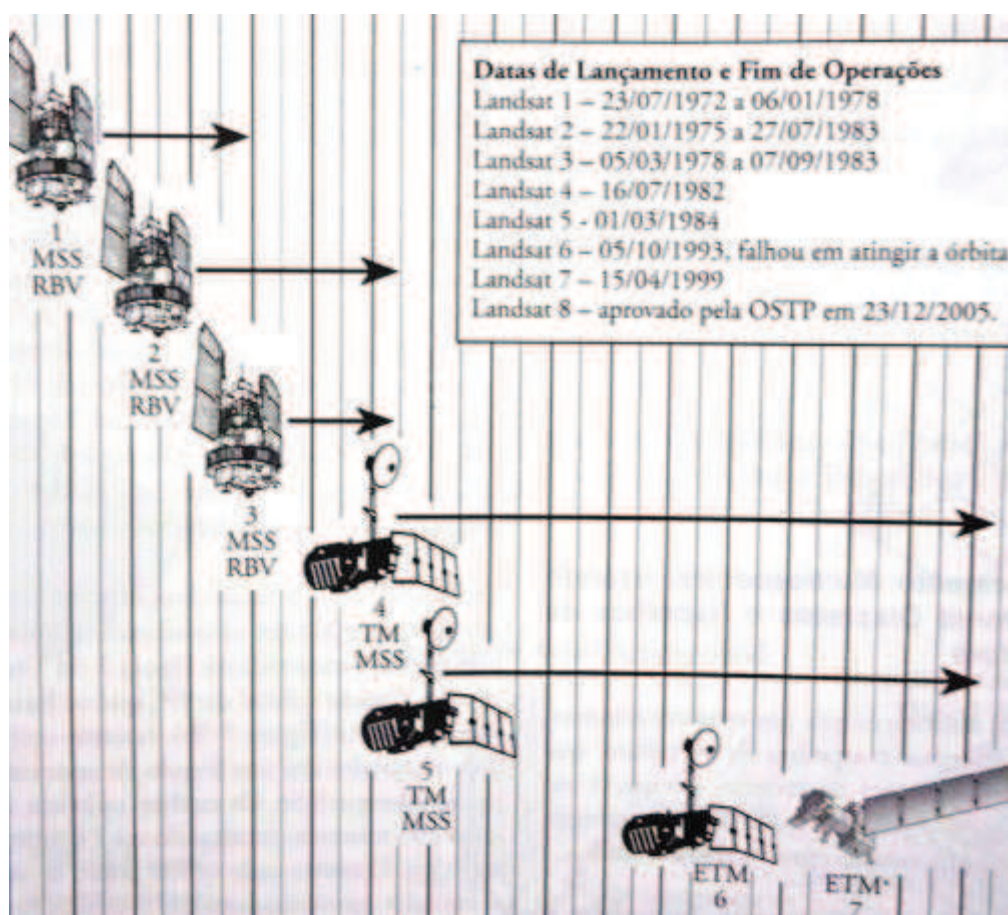


Figura 6. Evolução do sistema de satélite Landsat de acordo com a cronologia de lançamentos e término das operações. Fonte: (JENSEN, 2009).

O sensor óptico-mecânico, denominado do *Thematic Mapper* (TM), obtém dados de energia nas regiões do infravermelho refletido, de ondas curtas, termal e regiões do visível. Dentre suas características principais, se destacam a resolução espacial de 30 metros, mas na banda termal (Banda 6) a resolução espacial é de 120 metros, possuindo uma resolução temporal de 16 dias e largura de faixa imageando 185 km. Novo (2010) afirma que sua órbita é repetitiva, circular, Sol-síncrona e quase polar, tendo sua altura inferior aos primeiros satélites, com altitude posicionada a 705 km em relação à superfície terrestre no Equador, os antecessores possuíam uma altitude de 920 km apesar das mesmas características de órbita.

A Figura 7 mostra a plataforma do Landsat 5 tendo a bordo o sensor Thematic Mapper (TM).

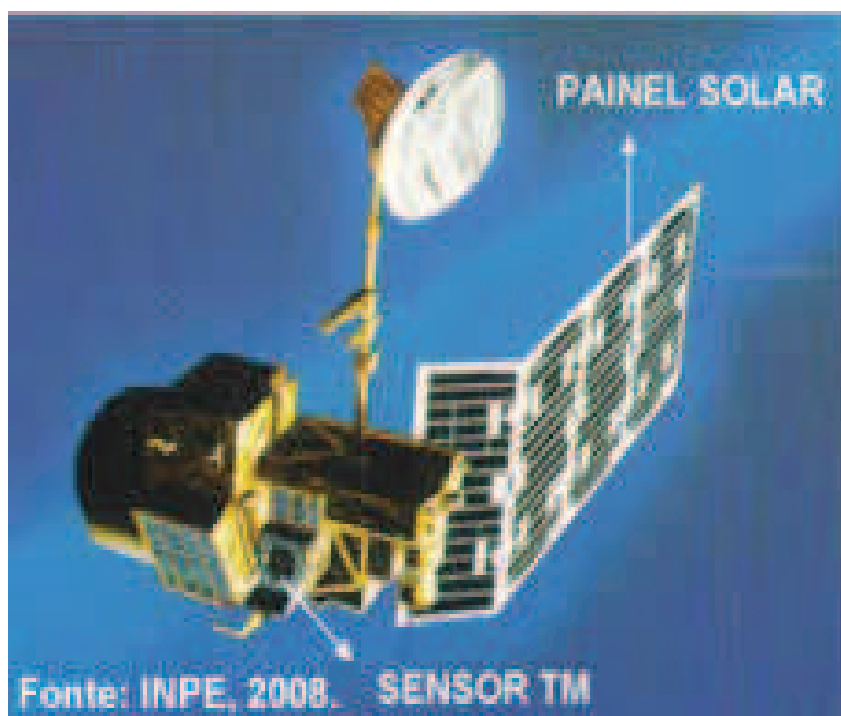


Figura 7. Plataforma do Landsat 5TM. Fonte: INPE, 2008.

Entre as especificidades do sensor TM, a Tabela 2 apresenta detalhes quanto as bandas, intervalos de comprimento de onda e resolução espacial.

Tabela 2. Características do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, com resolução temporal de 16 dias. Fonte: Adaptada de (Engesat, 2000).

Bandas	Intervalo de comprimento de ondas (μm)	Resolução espacial (m)
1	(0,45 - 0,52)	30
2	(0,52 - 0,60)	30
3	(0,63 - 0,69)	30
4	(0,76 - 0,90)	30
5	(1,55 - 1,75)	30
6	(10,4 - 12,5)	120
7	(2,08 - 2,35)	30

As principais características e suas aplicações do uso das bandas do satélite Landsat 5 podem ser visualizadas na Tabela 3.

Tabela 3. Principais aplicações das bandas do satélite Landsat 5. Fonte: Adaptada de (Engesat, 2000).

Bandas	Principais aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT-5
1	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da vanação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O trabalho foi realizado na área urbana de Patos (Figura 8), mesorregião do Sertão Paraibano (latitude 07°01'04" S, longitude 37°16'40" W e altitude 242 m). O relevo varia de 240 a 580 m, a área territorial é de 506,5 km² e uma população de 100.675 habitantes, sendo que 97.296 residem na zona urbana e 3.393 na área rural (IBGE, 2011).

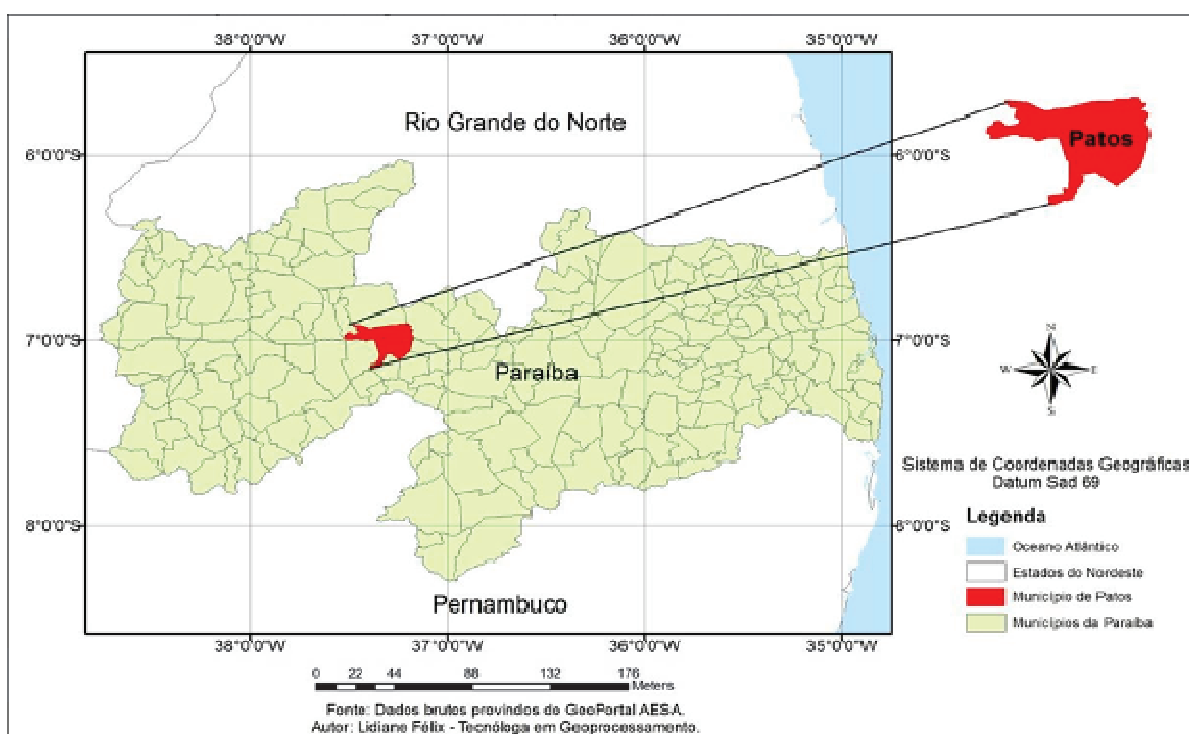


Figura 8. Mapa geográfico do Estado da Paraíba, com destaque para a cidade de Patos.

De acordo com a classificação climática de Köppen (1948), o clima predominante é do tipo semiárido (BS) e quente (h), com vegetação ou paisagem dominada por plantas de pequeno porte, temperatura média anual superior a 18⁰C e precipitação pluvial máxima ocorrendo entre o final do verão e o outono.

3.2 Procedimentos Metodológicos

Para realização do presente trabalho, utilizou-se uma imagem do satélite Landsat 5 TM, na órbita 215, ponto 65, do dia 28/08/2010, levando em consideração a disponibilidade em ambiente virtual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para visualizar e realizar as manipulações da imagem, como recortes, classificação e outros procedimentos, foi utilizado o *software Remote Sensing Application with raster graphics* (ERDAS Imagine), versão 8.7, disponibilizada no Lapin (Laboratório de informática do departamento de ciências atmosféricas) da Universidade Federal de Campina Grande. O processamento da imagem foi feito através da ferramenta *Model Maker* do ERDAS e para a confecção dos mapas temáticos o software ArcGis, constituído por um grupo de programas do Sistema de Informação Geográfica.

A primeira etapa consistiu na importação das imagens do formato TIFF para IMG, passando por uma reamostragem da banda termal de 120 m para 30 m, para que fosse realizado o empilhamento das sete bandas compostas na imagem analisada. Em seguida foi criada uma área de interesse, para ser realizado o recorte da área de estudo e georreferenciado a imagem. O procedimento se deu a partir de uma imagem já georreferenciada, obtida no site Landsat.org, que serviu como base para os ajustes na imagem deste estudo.

3.3 Georreferenciamento e o Uso do Algoritmo Sebal

O georreferenciamento se deu com a utilização de uma funcionalidade do software Erdas, no qual se denomina *AutoSync- Workstation*, que permite visualizar a imagem já georreferenciada e a imagem que irá passar pelo processo de ajuste. Após a entrada das imagens, escolhem-se feições, chamadas de pontos de controle, que neste caso ocorreram nas formas manual e automática, uma vez que o programa tenta achar feições idênticas na imagem, como pode ser visualizado na Figura 9.

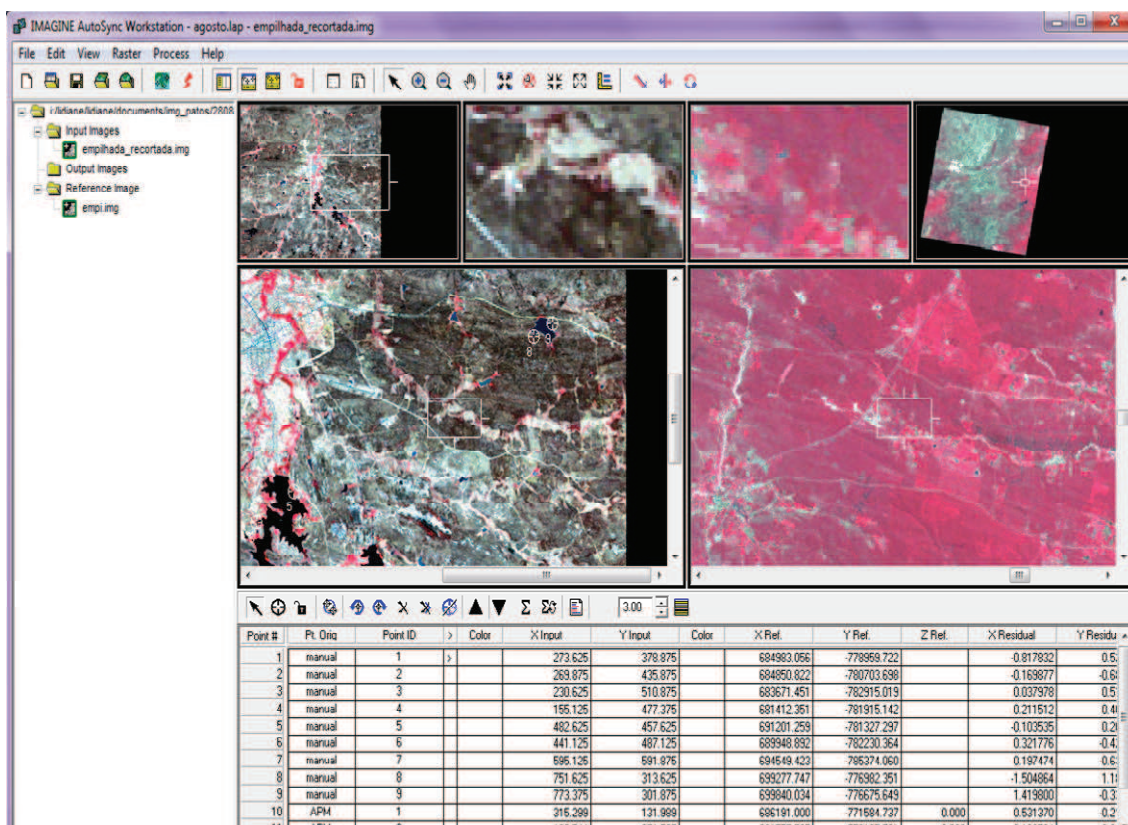


Figura 9. Tela de visualização do georreferenciamento da imagem alvo de estudo.

Das vantagens com o georreferenciamento oferecidas nesse software, cita-se que o mesmo permite investigar os pontos de controle que apresentarem erros em sua localização, denominados de X e Y residual, e ao mesmo tempo permite a correção de forma manual ou automática.

3.4 SEBAL

O *Surface Energy Balance Algorithms for Land* (SEBAL) foi o algoritmo utilizado para estimar os componentes do balanço de energia a superfície, dentre esses os fluxos de calor do solo, latente e sensível.

O algoritmo Sebal consiste de um conjunto com 15 etapas como mostra a Figura 10, sendo a última a estimativa da evapotranspiração. As etapas, a priori, foram divididas em duas partes: a primeira, executa os procedimentos para estimativa do balanço de energia a superfície e a segunda, a evapotranspiração.

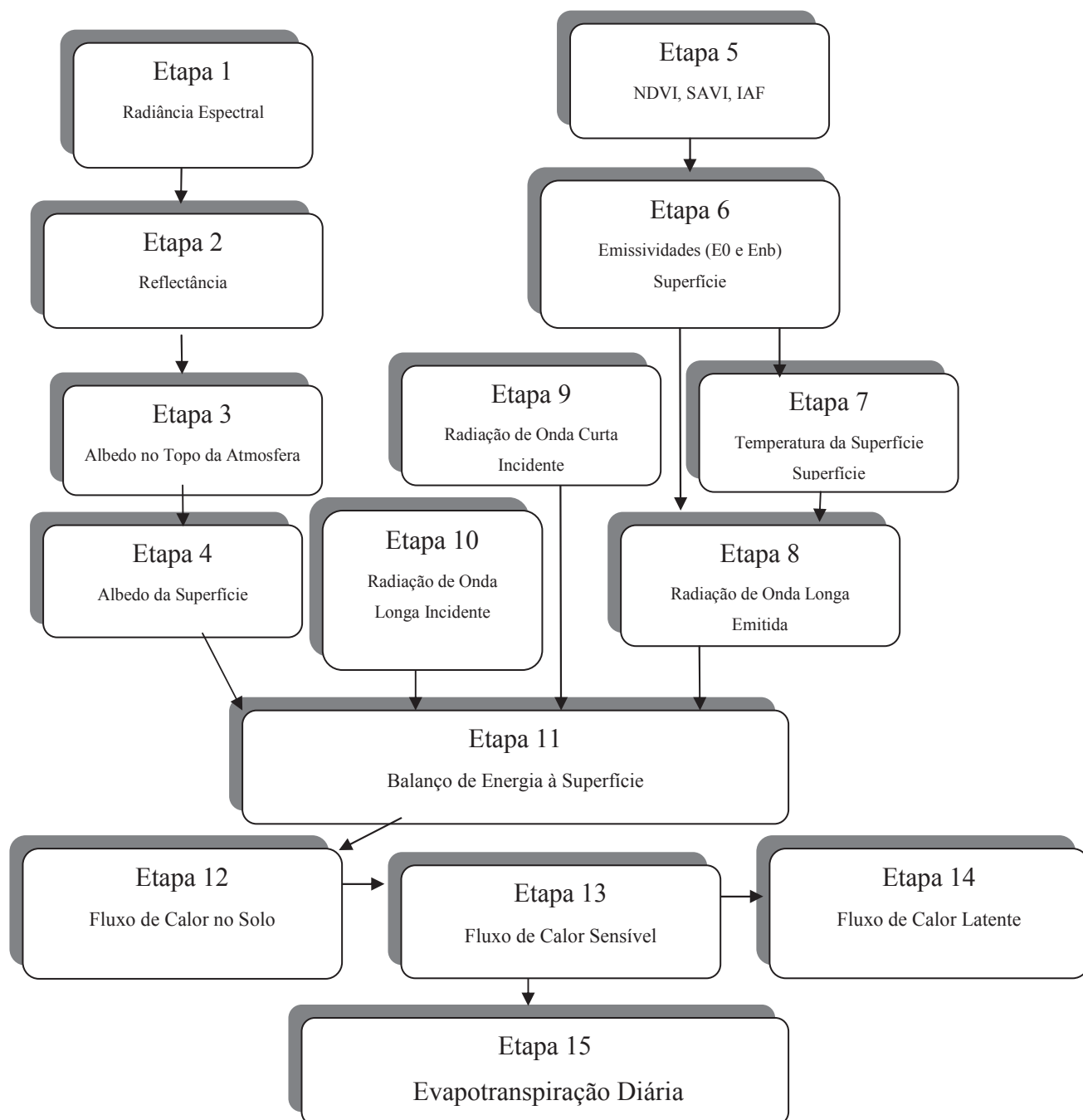


Figura 10. Fluxograma com os procedimentos e etapas do algoritmo Sebal para obtenção dos componentes do balanço de energia.

A determinação do saldo energia a superfície (R_n) foi feita seguindo-se etapas de 1 a 11, enquanto que as 12 a 15 resultaram na estimativa da evapotranspiração. No decorrer das etapas foram obtidos outros produtos que auxiliaram nas análises ambientais, tais como:

variação do albedo da superfície urbana, índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), de vegetação ajustada ao solo (SAVI) e de área foliar (IAF).

3.4.1 Radiância Espectral

A radiância é a quantidade de radiação que deixa determinada superfície, por unidade de área.

O cálculo da radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}) foi feito usando a equação proposta por Markham & Baker (1987), sendo a efetivação da calibração radiométrica e o número digital (ND), de cada pixel da imagem, convertidos em radiância espectral monocromática.

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (2)$$

Sendo: a_i e b_i as radiâncias espectrais mínimas e máximas, em $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$,

ND = é a intensidade do pixel (número digital, de 0 a 255);

i corresponde as bandas de 1 à 7 do satélite Landsat 5 - TM.

Os procedimentos para gerar a radiância espectral a partir do *model maker* no Erdas foram feitos com a composição de cores RGB 541 (Figura 11), assim como a geração da radiância da Figura 12.

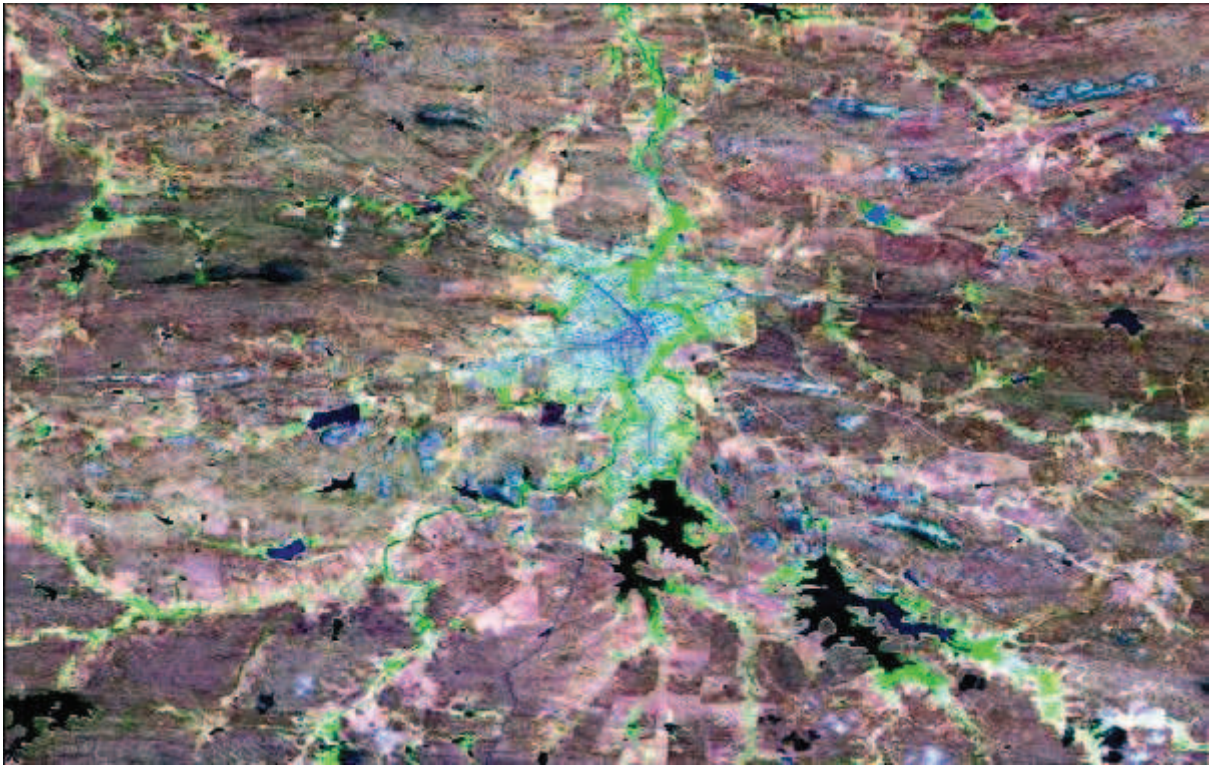


Figura 11. Imagem de radiância espectral com composição de cores RGB 541.

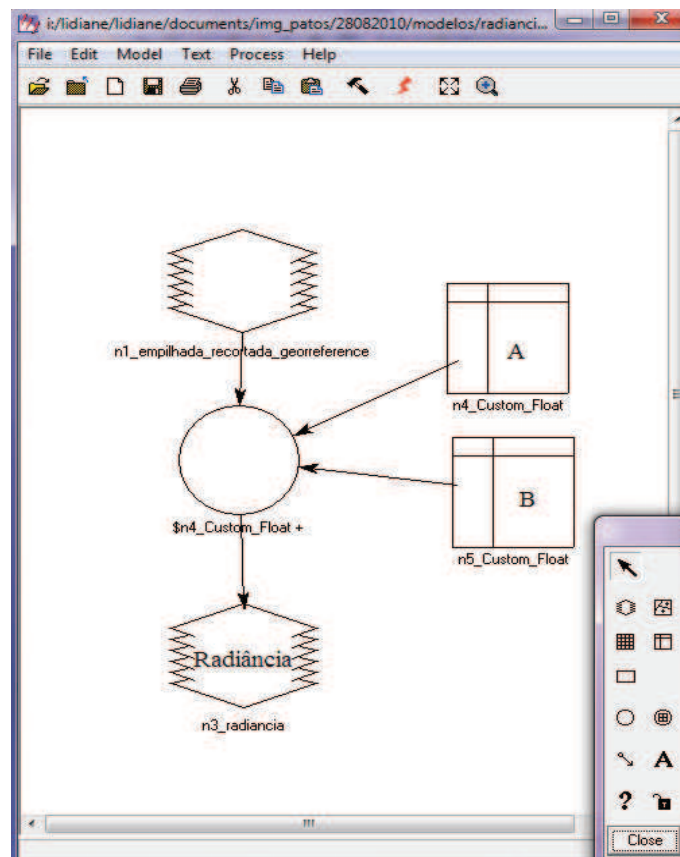


Figura 12. Fluxograma do modelo para obtenção da radiância a partir do Erdas.

A identificação dos alvos nas imagens foi obtida fazendo-se a composição de cores na combinação de canais e o comportamento espectral de acordo com a metodologia proposta por Novo (2010).

O modelo de radiância apresenta a inserção da imagem inicialmente empilhada e georreferenciada, com a seta de ligação para um círculo no qual se insere a fórmula matemática, que irá diretamente influenciar nos comandos para a obtenção de um novo produto, que no caso, se verifica uma nova seta indicando o caminho para a nova imagem, a de radiância, dois retângulos se referem às Irradiâncias mínima e máxima.

3.4.2 Reflectância

A reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) é razão entre os fluxos de radiante refletido por uma superfície e o incidente. O cálculo foi feito usando a equação proposta por Allen et al. (2002).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (3)$$

Sendo= $L_{\lambda i}$ a radiância espectral de cada banda dada em $\text{w sr}^{-1} \text{m}^{-2}$;

$k_{\lambda i}$ a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera

Z o ângulo zenital solar em radianos;

d_r o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) calculado pela equação citada por Iqbal (1983):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{DSA 2\pi}{365} \right) \quad (4)$$

Em que o argumento da função cosseno é medido em radianos. O valor médio anual de d_r varia entre 0,97 e 1,03. O DSA corresponde ao dia sequencial do ano, também conhecido como dia Juliano.

Em área com declividade muito pequena ou nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol (E), que se encontra no cabeçalho da imagem no momento da aquisição, ou seja:

$$\cos [Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right)] \quad (5)$$

Executando-se as operações algébricas foi gerada a imagem reflectância da área de estudo, com composição de Cores RGB432 conforme mostra a Figura 13.

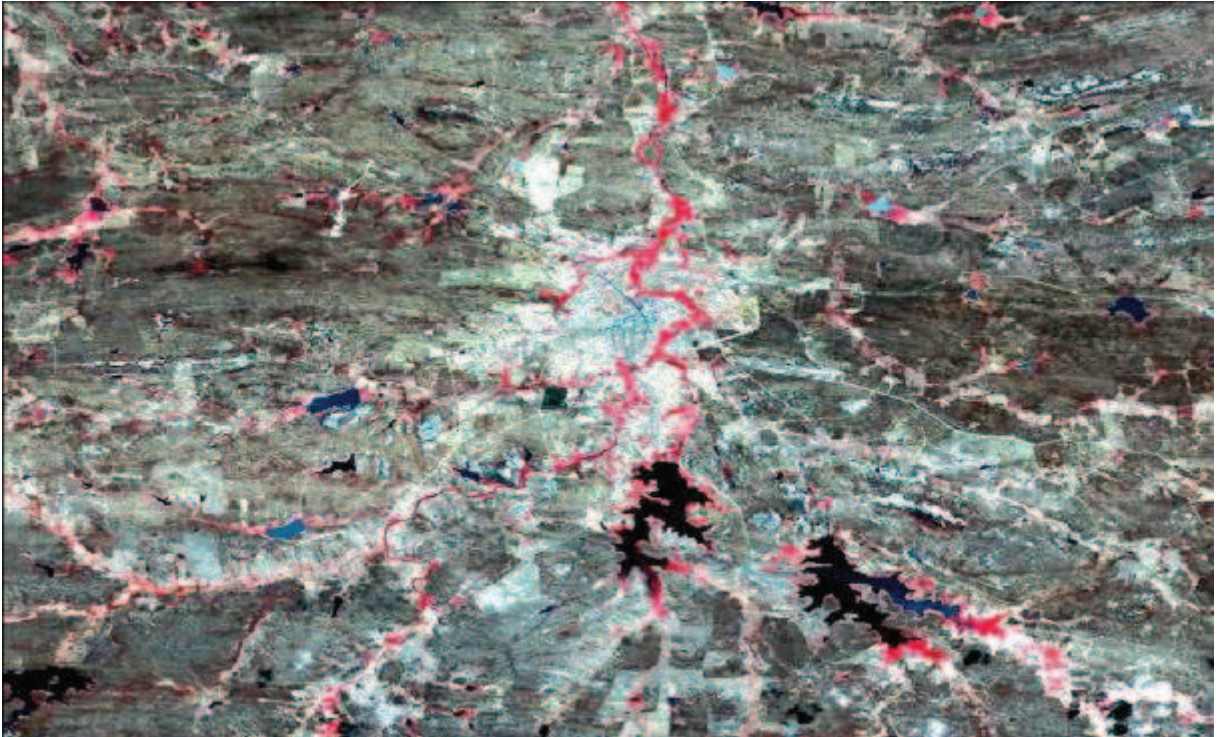


Figura 13. Imagem de reflectância, com composição de Cores RGB432.

3.4.3 Albedo Planetário

O albedo planetário (α_{toa}) é o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, que foi obtido pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas mediante a equação proposta por ALLEN et al., (2007).

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (6)$$

Em que $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são os albedos planetários das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

3.4.4 Albedo da Superfície

O albedo da superfície foi estimado utilizando-se a expressão utilizada por Bastiaanssen (2000),:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (7)$$

Em que α_p é a da radiação solar refletida pela atmosfera, na banda que varia entre 0,025 e 0,04.

No modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000). τ_{sw} é a transmissividade atmosférica; para condições de céu claro, foi calculada em função da altitude de cada pixel (z , em m) pela expressão proposta por (Allen et al., 2002).

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (8)$$

3.4.5 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O índice de vegetação da diferença normalizada foi obtido pela metodologia que relaciona a diferença das refletividades do Infra-vermelho-próximo (ρ_{iv}) e do vermelho (ρ_v), dividida pela soma das mesmas:

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v} \quad (9)$$

Em que ρ_{iv} e ρ_v correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5 - TM.

3.4.6 Índice de Vegetação Ajustado ao solo (SAVI)

É um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, sendo calculado pela equação proposta por Huete (1988).

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (10)$$

Sendo L a irradiância espectral de cada banda, em $\text{wsr}^{-1}\text{m}^{-2}$, ρ_{iv} e ρ_v correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5 como visto anteriormente. L é um fator de correção em função do tipo do solo e pode variar entre 0 e 1, mas nesse caso foi utilizado L=0,1.

3.4.7 Índice de Área Foliar (IAF)

É definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo foi computado pela equação 11, citada por Allen et al. (2002).

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

3.4.8 Emissividades

As emissividades de cada pixel, nos domínios espectral da banda termal (ε_{NB}), de 10,4-12,5 μm , e na banda larga (ε_0), de 5-100 μm , foram obtidas pelas expressões preconizadas por Allen et al. (2002), considerando-se $NDVI > 0$ e $IAF < 3$:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{NB} &= 0,97 + 0,00331 \times IAF \\ \varepsilon_0 &= 0,95 + 0,01 \times IAF \end{aligned} \quad (12)$$

Para pixels com $IAF \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$.

3.4.9 Temperatura da Superfície

A temperatura da superfície (T_s em K) foi obtida usando-se a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB} estimada na etapa anterior, mediante a expressão 13 utilizada por Gomes (2011):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (13)$$

Sendo: K_1 e K_2 constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 –TM, com valores citados por (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005) de $607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$, e $1260,56 \text{ K}$, respectivamente .

3.4.10 Radiação de Onda Longa Emitida

A radiação de onda longa emitida pela superfície $R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) foi obtida através da Equação de Stefan-Boltzman (14).

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (14)$$

Sendo: ε_0 = a emissividade de cada pixel;

σ = constante de Stefan-Boltzman ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$)

T_s = temperatura da superfície (K).

3.4.11 Radiação Global Incidente

A radiação global incidente $R_{s\downarrow}$ (Wm^{-2}) foi estimada utilizando-se a constante solar (S , em Wm^{-2}), o ângulo zenital do sol (Z), o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (d_r) e da transmissividade atmosférica (τ_{sw}) através da equação 15 (Allen et al., 2002).

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (15)$$

A $R_{s\downarrow}$ pode ser considerado constante, se área for de pequena dimensão (50 km x 50 km, por exemplo).

3.4.12 Radiação de Onda Longa Incidente

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera em direção da superfície $R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}), foi computado usando a equação de Stefan-Boltzman (Equação 16), proposta por Allen et al., 2002:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (16)$$

Sendo: T_a = a temperatura do ar próxima a superfície (K);

ε_a = emissividade atmosférica obtida pela Equação 17 (Allen et al., 2002).

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

3.4.13 Saldo de Irradiância à Superfície (Rn)

O balanço de energia à superfície (Rn), em Wm^{-2} , foi computado utilizando-se a expressão 18.

$$Rn = R_{s\downarrow} + \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (18)$$

$R_{s\downarrow}$ = radiação de ondas curtas incidentes (W.m^{-2});

α = albedo corrigido de cada pixel (%),

$R_{L\downarrow}$ = radiação de onda longa emitida pela atmosfera

$R_{L\uparrow}$ = radiação de onda longa emitida por cada pixel (W.m^{-2});

ε_o = emissividade de cada pixel.

3.4.14 Fluxo de Calor no Solo

O fluxo de calor no solo (G) foi estimado pela equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen e utilizada por Trezza (2006), utilizando-se a temperatura da superfície (T_s ,

0C), o albedo da superfície (α) e o índice de vegetação normalizada (NDVI) computados em todos os pixels da imagem.

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2) (1 - 0,98 \text{NDVI}^4) \right] R_n \quad (19)$$

3.4.15 Fluxo de Calor Sensível

O fluxo de calor sensível (H) foi estimado utilizando-se dados da estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada na cidade de Patos - PB, mediante a expressão:

$$H = \rho c_p \frac{a + bT_s}{r_{ah}} \quad (20)$$

Sendo: ρ = a massa específica do ar (1.15 kg m⁻³);

c_p = calor específico do ar de 1004 Jkg⁻¹k⁻¹);

a e b são constantes de calibração;

T_s = temperatura do ar a 1,5 m de altura do solo (0C);

r_{ah} = resistência aerodinâmica ao transporte de calor (sm⁻¹).

Os procedimentos para determinação do fluxo de calor sensível ser visualizados no fluxograma da Figura 14.

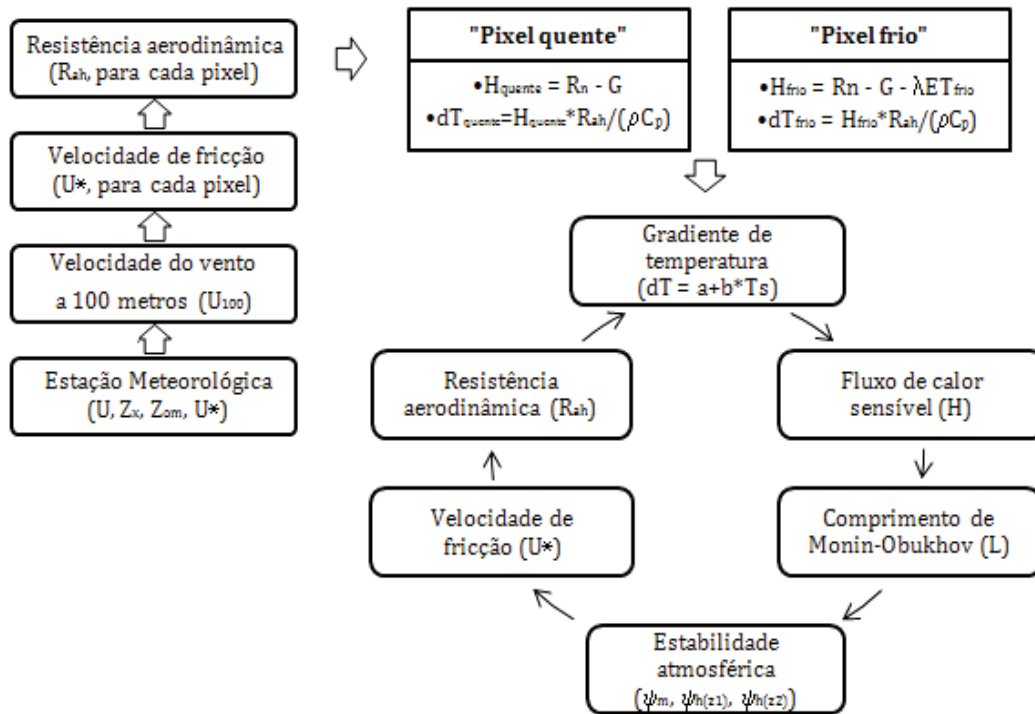


Figura 14. Fluxograma com etapas do processo iterativo para obtenção do fluxo de calor sensível.

Foi utilizando a velocidade do vento (u), a resistência aerodinâmica da superfície (r_a) e a diferença da temperatura do ar (dT) entre dois níveis acima da superfície do solo, ou seja, entre 0,1 e 2,0 m. Para calcular o dT para cada pixel foi feita uma relação linear entre dT e Temperatura da superfície (item 3.2.11). Essa relação é determinada pelos coeficientes a e b , obtidos pelos pixels denominados “âncoras” ou “quente” e “frio”.

Os pixels “quente” e “frio” foram escolhidos ao consultar os mapas do NDVI e da temperatura da superfície (T_s), sendo o pixel frio o do Açude Jatobá e o quente uma área de solo descoberto, o que denota uma temperatura da superfície mais elevada. Os procedimentos mais detalhados podem ser obtidos em Allen et al. (2002).

3.4.16 Fluxo de Calor Latente (LE)

O fluxo de calor latente foi determinado pela fórmula algébrica:

$$LE = R_n - G - H \quad (21)$$

3.4.17 Evapotranspiração Diária (mm.dia⁻¹)

A evapotranspiração diária foi estimada calculando-se, inicialmente, a fração evaporativa (FE_i), que envolve os fluxos de calor latente e do solo, saldo de irradiância a superfície pela equação:

$$FE_i = \left(\frac{LE}{(R_n - G)} \right) = FE_{24} = \frac{LE_{24}}{R_{24h}} \quad (22)$$

A resolução da equação 22 exige se uma sequência de procedimentos, descritos a seguir:

Admitindo $G_{24h} = 0$, o LE_{24h} poderá ser calculado por:

$$LE_{24} = FE \times R_{24h} \quad (23)$$

$$R_{24h} = R_{s24} (1 - \alpha) R_{s124h} - 110 \tau_{SW124h} \quad (24)$$

A conversão de LE_{24h} para ET_{24} foi feita pela equação:

$$ETd = 0,035 \times [(1 - \alpha) R_{s124h} - 110 \tau_{SW124h}] \quad (25)$$

Dando-se sequência efetuou-se as operações algébricas de conversão horária

$$ET_H = 3600 \times \frac{LE}{L} \quad e \quad FET_{0_H} = \frac{ET_H}{ET_{0_H}} \quad (26)$$

Fazendo-se as inter-relações na expressão 26, resultou no seguinte ordenamento:

$$FET_{0_H} = FET_{0_{24}} = \frac{ET_H}{ET_0} = \frac{ET_{24}}{ET_{0_{24}}} \quad (27)$$

Em seguida, obteve-se a evapotranspiração diária pela equação:

$$ET = FET_{0_{24}} \cdot ET_{0_{24}} \quad (28)$$

Os valores de ET_{0_H} foram obtidos no intervalo de tempo no momento da passagem do satélite na área de estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações espaciais do albedo da superfície da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010, são mostradas na Figura 15. A palheta de cores em tons de cinza compreende aos valores do albedo entre 0 a 30%, com valores médios de 5% e 7% para os espelhos d'água dos açudes Jatobá e Farinha e de cerca de 10% nos demais corpos d'água. Embora os corpos d'água sejam pequenos, o valor do albedo foi próximo aos 11% encontrado para o lago de Sobradinho por Silva et al. (2005). Leiva et al.(2007) realizou um estudo da variação diária de albedo em uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental agrônômica da UFRGS-RS utilizando piranômetros e imagens do satélite *Aster*, encontrando valores médios para o espelho d'água de 11 e 12% com o piranômetros, já com as imagens do satélite *Aster*, obtiveram valores médios de 12% próximos ao encontrado nos espelhos d'água na cidade de Patos -PB na data avaliada . Na zona urbana de Patos, os coeficientes de reflexão variaram de 15 a 20%, sendo os menores valores encontrados nas vias asfaltadas e/ou nas áreas onde há maior conglomerados de construções com concreto liso.

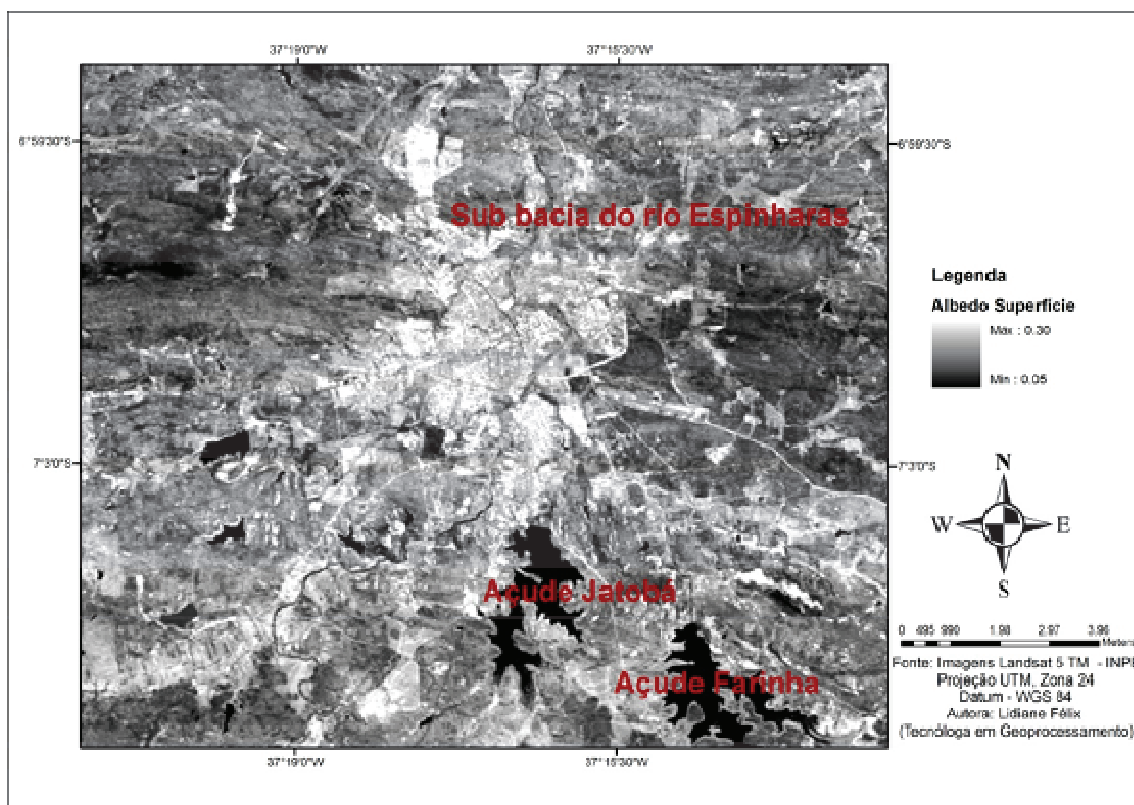


Figura 15. Mapa temático do albedo da superfície da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Visualiza-se na imagem da Figura 15, que o albedo da superfície do solo descoberto alcançou percentuais próximos a 17 %. Já, na mata ciliar do entorno da sub-bacia do rio Espinharas o coeficiente de reflexão oscilaram entre 18 e 23%, sendo a mata ciliar composta por vegetação nativa.

Observa-se (Figura 15), que a maior parte da superfície encontra-se com solo descoberto. Por isso, os valores medianos do albedo devem-se essa maior proporção, como mostra o histograma de frequência apresentado na Figura 16.

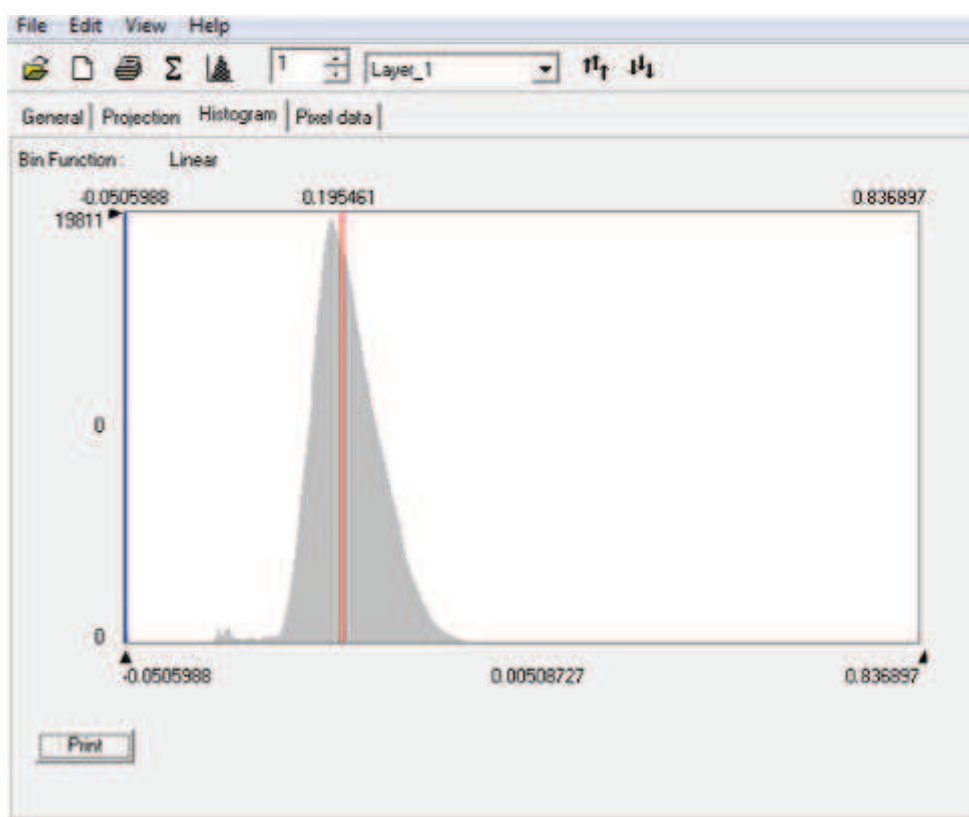


Figura 16. Histograma de frequência do albedo da superfície da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Fazendo-se uma análise comparativa com os valores de coeficientes de reflexão obtidos por outros autores em outras condições, constatou-se que eles estão mais ou menos nas mesmas faixas encontrados por Silva et al., (2008), na bacia hidrográfica do baixo Jaguaribe, município de Quixeré, CE, que encontraram albedos variando de 14 a 18%, para diferentes culturas irrigadas, inclusive de vegetação densa (caatinga), valores próximos aos

encontrados na mata ciliar da sub bacia do rio Espinharas. Embora eles tenham evidenciado que no leito do rio Jaguaribe, onde existia água, albedo em geral inferior aos 10% e acima de 28%, provavelmente associada à presença de bancos areia.

As variações nos valores do albedo se devem a vários fatores, dentre eles destacam-se a época do ano, a cor da superfície, a cobertura vegetal, dentre outras. Isso corrobora com os resultados encontrados por Rodrigues et al., (2009), na bacia do Rio Trussu, CE, cujos albedos variaram de 10 a 15 %, para superfície vegetal, de 3 a 10 % para corpos hídricos e de 28 a 29 % para solos desnudados.

Giongo et al., (2009) obtiveram para áreas de plantio de cana de açúcar e cerrado localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro em São Paulo, o albedo da superfície usando o sensor Thematic Mapper e comparou com dados obtidos em estações agrometeorológicas, no qual os valores mínimos se aproximaram entre 1,9 e 1,13% em superfícies de lago e áreas adjacentes e os maiores valores variaram entre 44,6 e 44,7% e foram designadas as áreas de cultivo e solo exposto. Embora os resultados apresentem valores distintos, o comportamento da variação de albedo da superfície condiz com os valores encontrados na pesquisa, visto que áreas com menor albedo foram encontradas em áreas com superfícies aquosas e os maiores valores se deram em sua maioria aos solos desnudados.

A variação espacial dos índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e de área foliar (IAF) podem ser visualizadas nas Figuras 17, 18 e 19. O NDVI (Figura 16) variou de -1 a 0,87, sendo os maiores valores apresentados na cor verde referente às áreas vegetadas. Como pode ser visualizado na referida Figura 16 há uma pequena faixa da imagem com a citada cor, o que corresponde a uma pequena quantidade de vegetação.

Os valores encontrados do NDVI corroboram com os de baixa refletividade da superfície, devido a pequena quantidade de cobertura vegetal. Resultados esses semelhantes aos obtidos para a microrregião de Itamaracá em Pernambuco por Silva et al., (2009), compreendidos entre - 0,6 e 0,8, sendo o valor negativo atribuído aos corpos d água pertencentes a área alvo de estudo. Os valores entre 0,005 e 0,408 foram indicados como solo exposto, os valores entre 0,409 e 0,524 indicaram vegetação mais rala e vegetação em crescimento, já os valores entre 0,525 e 0,651 foram indicados por vegetação e manguezal,

porém esses resultados sofreram influências das propriedades do solo, visto que vegetação de manguezal apresenta espaçamento entre o dossel das árvores.

DEMARCHI et al.,(2011) realizaram uma análise multitemporal do uso do solo e índices de vegetação usando imagens do satélite Landsat no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP e obtiveram valores em quase totalidade da área do município entre os valores -0,1 e 0,7, homogeneizando tipos de vegetação com diferentes respostas espectrais, sendo os valores negativos atribuídos aos espelhos d'água ou áreas irrigadas, já os valores próximos a 0,2 são indicados como solo exposto e cobertura rala, representando 31,69% do município, e as áreas vegetadas foram distribuídas em intervalos de 0,2 a 0,9 entre vegetação de plantio recente, áreas de cultivo anual com alta densidade de cobertura vegetal e mata nativa, sendo esta atingindo os maiores valores, o que condiz com os resultados apresentados na pesquisa.

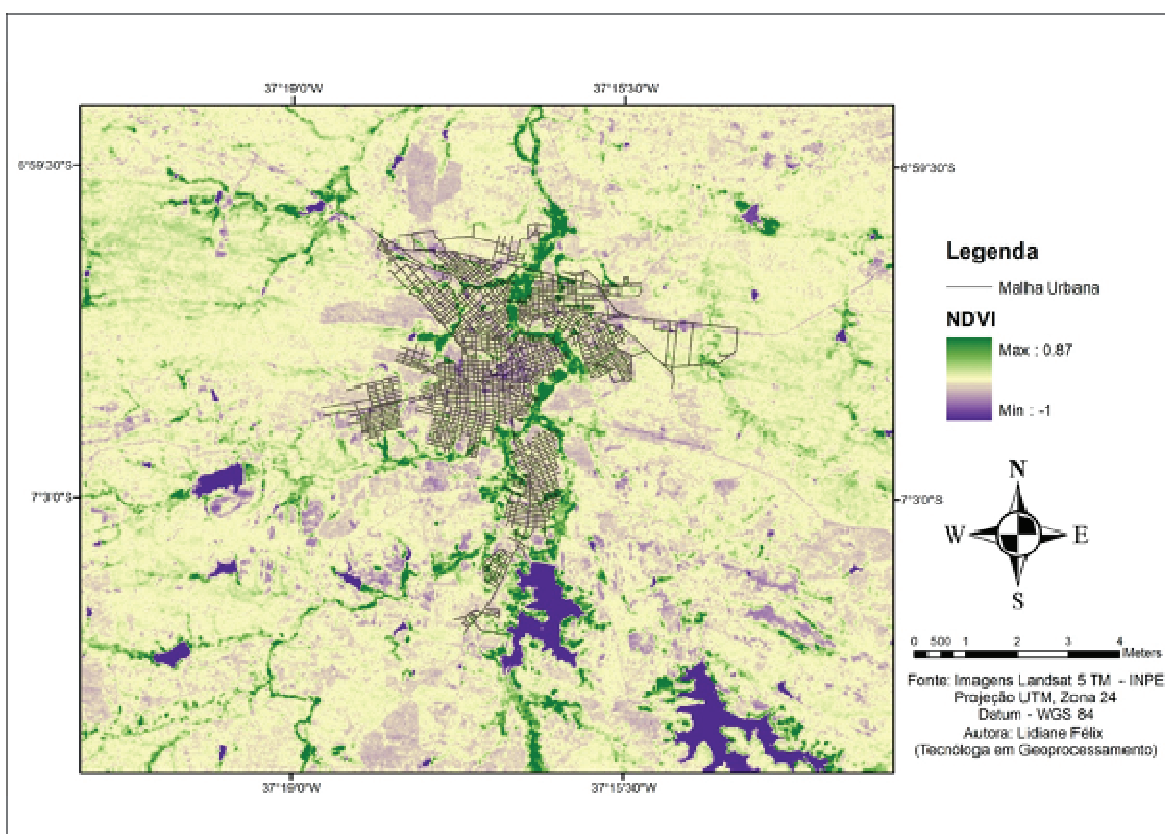


Figura 17. Mapa temático do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Ressalta-se, ainda, que os índices negativos do NDVI apresentados na Figura 17 refletem à grande porção de Terra sem nenhuma vegetação (descoberta) e aos corpos hídricos presentes na área de abrangência da imagem do Landsat 5 TM.

Os índices de vegetação foram estabelecidos visando ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre, sendo o de vegetação da diferença normalizada um dos mais utilizados. O índice de vegetação ajustado ao solo (Figura 18) é determinado igualmente ao NDVI, como sendo uma razão entre a refletividade nas faixas do espectro eletromagnético do vermelho e do infravermelho próximo, mais afetadas pela densidade da vegetação na superfície. Com o propósito de apresentar valores corrigidos ao NDVI, o SAVI é um índice que reduz a influência do solo nos seus valores, a partir da introdução do fator de correção de brilho na fórmula matemática descrita no item material e métodos.

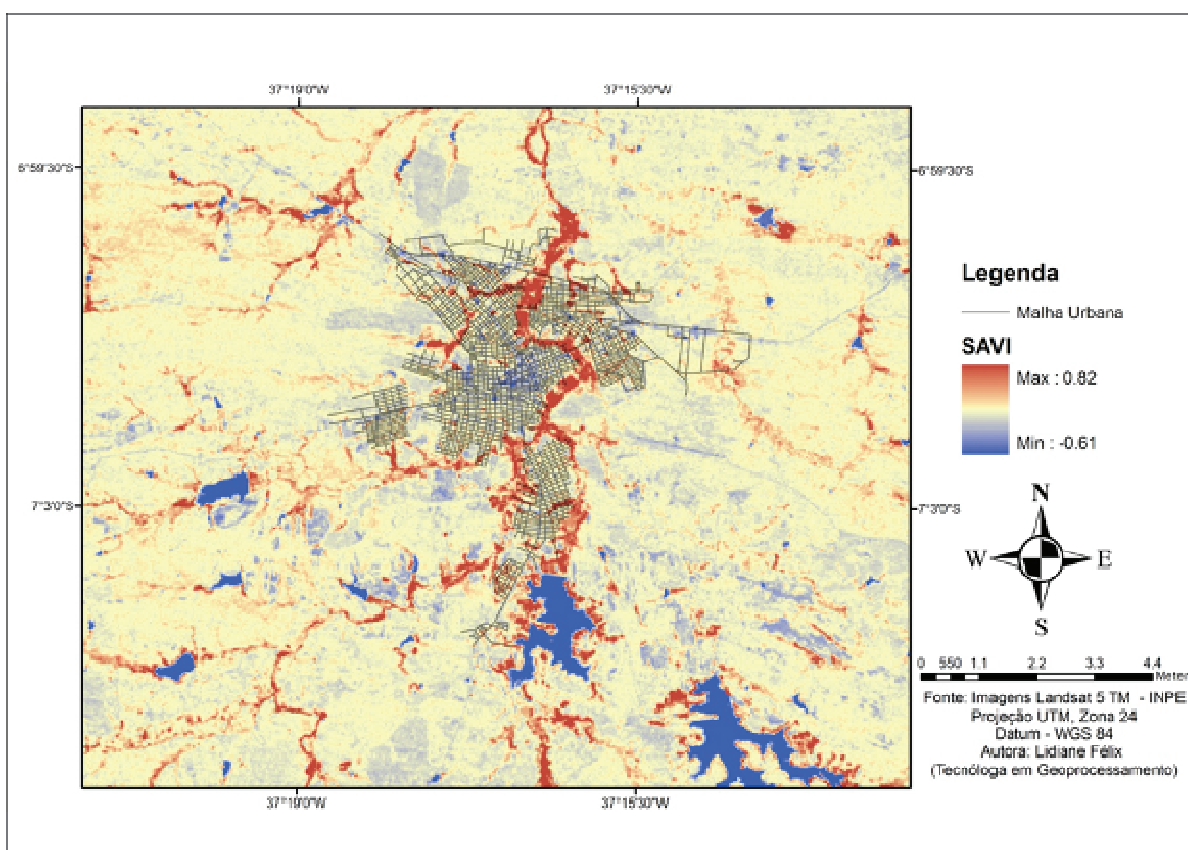


Figura 18. Mapa temático do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) da cidade de Patos-PB, em 28.08.2010.

Os índices de vegetação ajustado ao solo variaram de -0,61 a 0,82. Os maiores valores observados no mapa do SAVI correspondem às áreas com vegetação, tom é vermelho, os

intermediários, na cor bege, ao solo descoberto, e os de tom azulado (os menores), aos corpos d'água (Figura 18).

Oliveira e Galvêncio (2008) realizaram uma caracterização ambiental da bacia hidrográfica do Rio Moxotó-PE utilizando dados obtidos por sensoriamento orbital e encontraram entre os anos de 1992 e 2003 valores entre -0,239 e 0,609, sendo seus valores médios entre 0,15 e 0,13 respectivamente. Os autores atribuíram uma redução de biomassa entre os valores de SAVI obtidos entre os anos devido à época do ano e as características naturais do bioma na região. De fato os valores se aproximam com os valores obtidos em Patos-PB, visto que as duas áreas estudadas apresentam semelhanças devido a localidade geográficas que ambas se encontram.

O índice de área foliar (IAF) é um indicador da biomassa, cuja espacialização para a cidade de Patos-PB, é mostrada na Figura 19. O IAF variou entre 0 a 6, sendo 0 (zero) atribuído a ausência de vegetação e 6 o valor máximo, onde há vegetação mais adensada. Por esse índice, percebe-se claramente a presença da mata ciliar nas margens dos açudes Jatobá e Farinha, como também, a vegetação nas cercanias da subbacia do rio Espinharas.

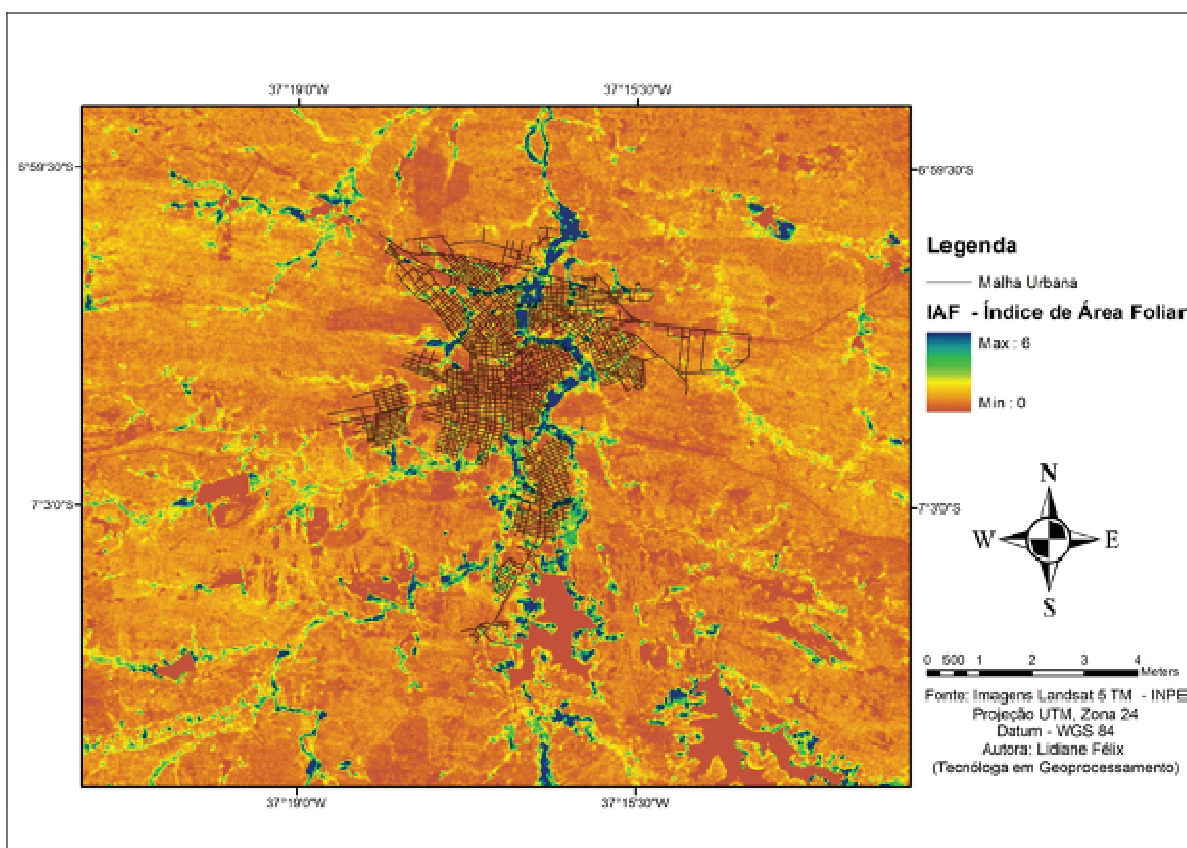


Figura 19. Mapa temático do índice de área foliar da cidade de Patos-PB, em 28.08.2010.

A variação espacial da temperatura da superfície na cidade de Patos, no dia 28.08.2010, são apresentadas na Figura 20. Observa-se que há uma amplitude térmica superior a 14 K, com variação entre 307,46 e 293,17 Kelvin, ou seja, de 20,2 a 34,5 °C. Os menores valores de temperaturas foram encontrados nos corpos hídricos (cor azul), os medianos a cor ciana, que equivale às áreas com mata ciliar e com resquícios de vegetação.

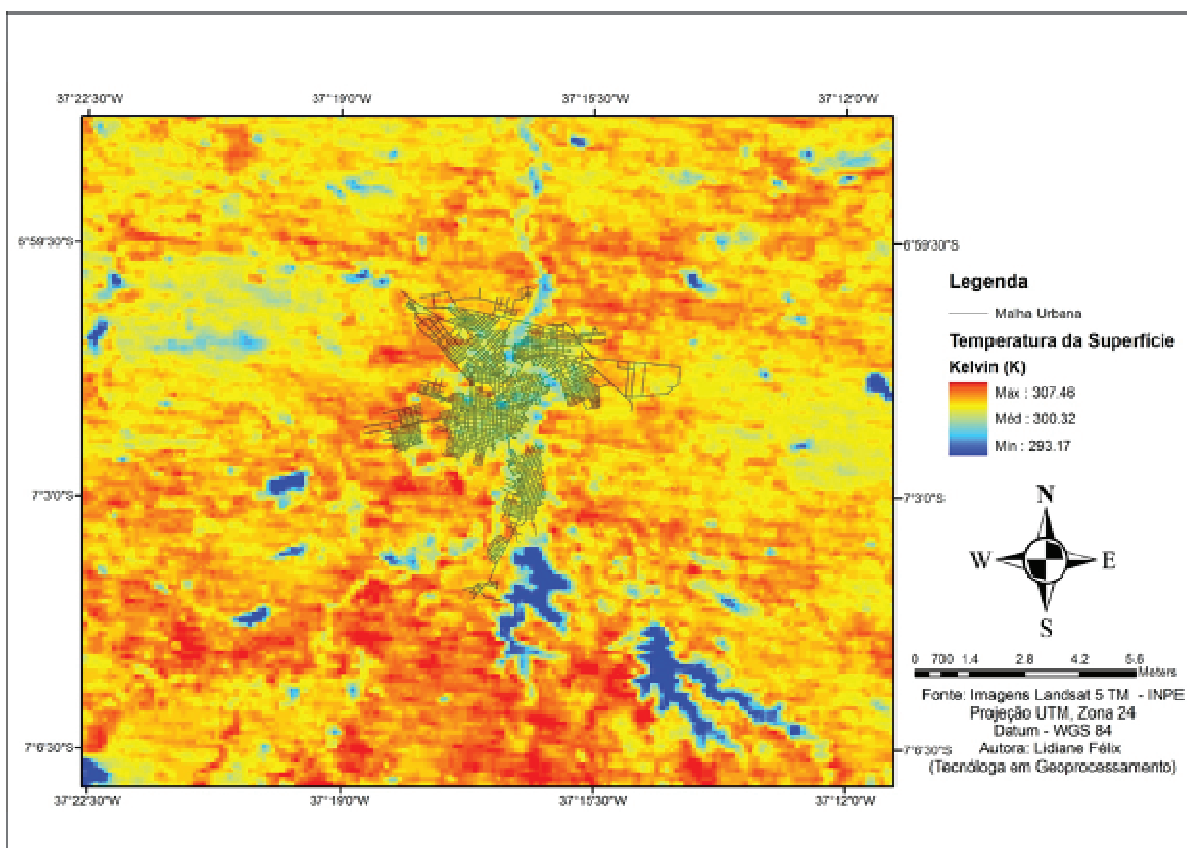


Figura 20. Mapa temático da temperatura da superfície da cidade de Patos-PB, em 28.08.2010.

Para as áreas mais quentes foram designadas às cores vermelho e amarelo, representando solo exposto e pequenas áreas na malha urbana da cidade. Esses resultados concordam como os de Ideião, (2009) obteve para a mesma cidade no ano de 1984 temperaturas mais amenas, porém isso se deve ao fato de menor adensamento populacional e consequentemente menor interferência das ações antrópicas nas alterações na cobertura do solo.

Os dados de irradiância emitida pela superfície da cidade de Patos-PB, são apresentados na Figura 21. A legenda mostra variação entre 482,94 e 398,44 Wm^{-2} , onde os maiores valores de radiação de ondas longas ocorreram nas áreas de solo desnudado e os menores nos corpos d'água e/ou em fragmentos da mata ciliar. Esses resultados

assemelham-se a faixa de 420 a 490 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ encontrados por Peres & França (1998), utilizando-se imagens do satélite NOAA- AVHRR para estimar o fluxo de irradiância emitida pela superfície em duas localidades distintas no nordeste do Brasil, sendo uma nas proximidades da represa de Tucuruí localizada no estado do Pará e no norte do estado do Maranhão e a outra no norte do estado da Bahia, próximo à represa de Sobradinho e no sul do estado do Piauí. Sendo os menores valores abaixo de 450 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ localizados próximos à represa Sobradinho e Tucuruí e em locais com vegetação algum tipo de vegetação.

Esta análise demonstra que os resultados obtidos de irradiação de onda longa emitida apresentam uma boa variação de acordo com a temperatura da superfície (Figura 20), a qual se espera que possua menores valores nas áreas cobertas por vegetação e maiores valores nas áreas de solo exposto.

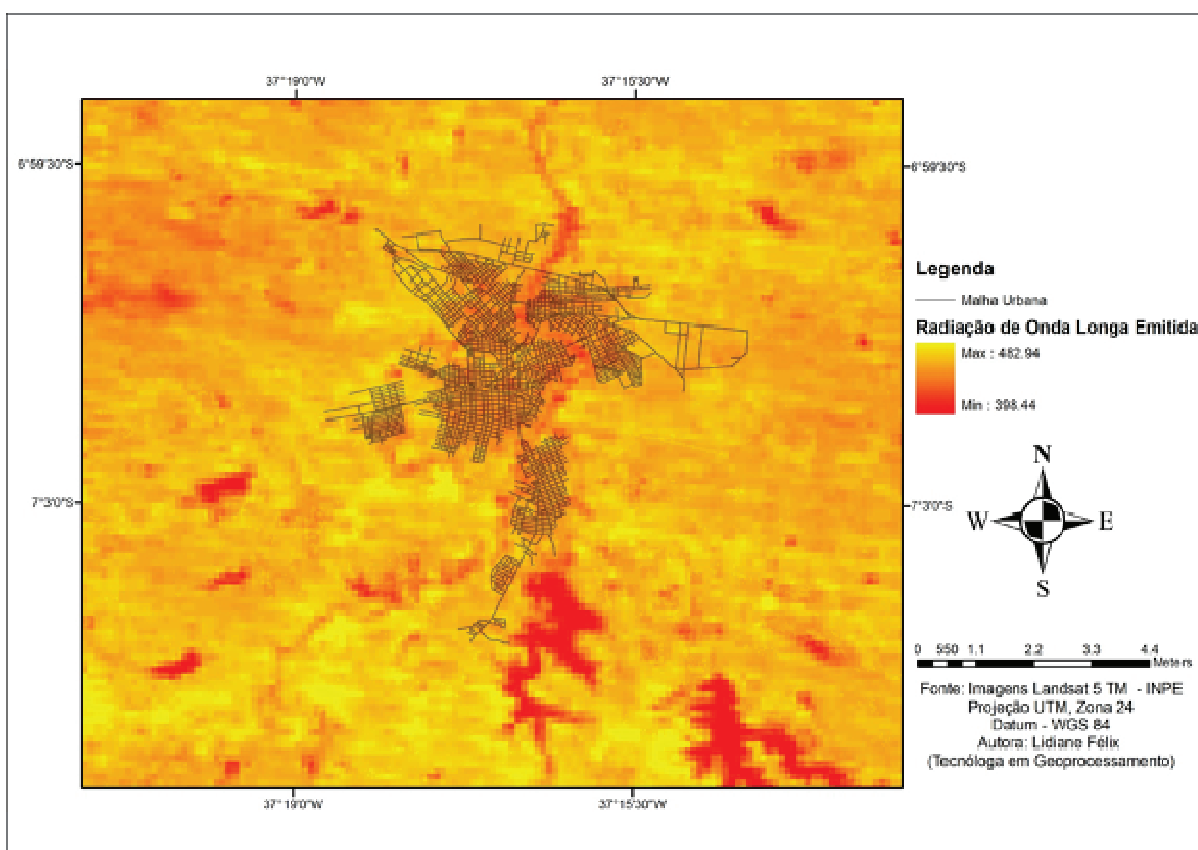


Figura 21. Mapa temático de irradiação de ondas longas emitida na cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

O saldo de irradiância disponível à superfície (R_n) é usado na evapotranspiração, no aquecimento do solo e do ar e nas atividades fotossintética dos vegetais. No entanto, a sua

variação ocorre em função de diversas características da própria superfície, dentre ela: a cobertura e uso do solo, albedo, unidade e temperatura do solo, dentre outras.

O Rn é uma síntese do balanço de energia entre os fluxos radiativos de ondas curta e longa, ou seja, é contabilizado pela energia incidente que chega (ondas curtas) menos a energia emitida que sai (ondas longas). Componentes esses que foram determinados de forma espacial por técnicas de sensoriamento remoto.

Os saldos de irradiância a superfície são mostrados na Figura 22. Observa-se que o Rn variou de 377,75 a 717,10 Wm^{-2} , sendo os maiores valores para os locais onde há corpos d'água, representados em um tom branco e os menores em solo exposto (tom de cinza mais escuro), no qual pode-se observar que coincide com as áreas com maiores valores de albedo, menores índices de vegetação e, conseqüentemente, menores Rn, devido a menor balanço de energia incidente no solo exposto. Já os resultados obtidos por Bezerra, Silva e Ferreira (2008) na mesorregião do Cariri no sul do estado do Ceará, corroboram com os resultados obtidos com valores médios entre 600 e 700 Wm^{-2} , encontrados e validados com dados coletados em superfície, com o intuito de obter a evapotranspiração.

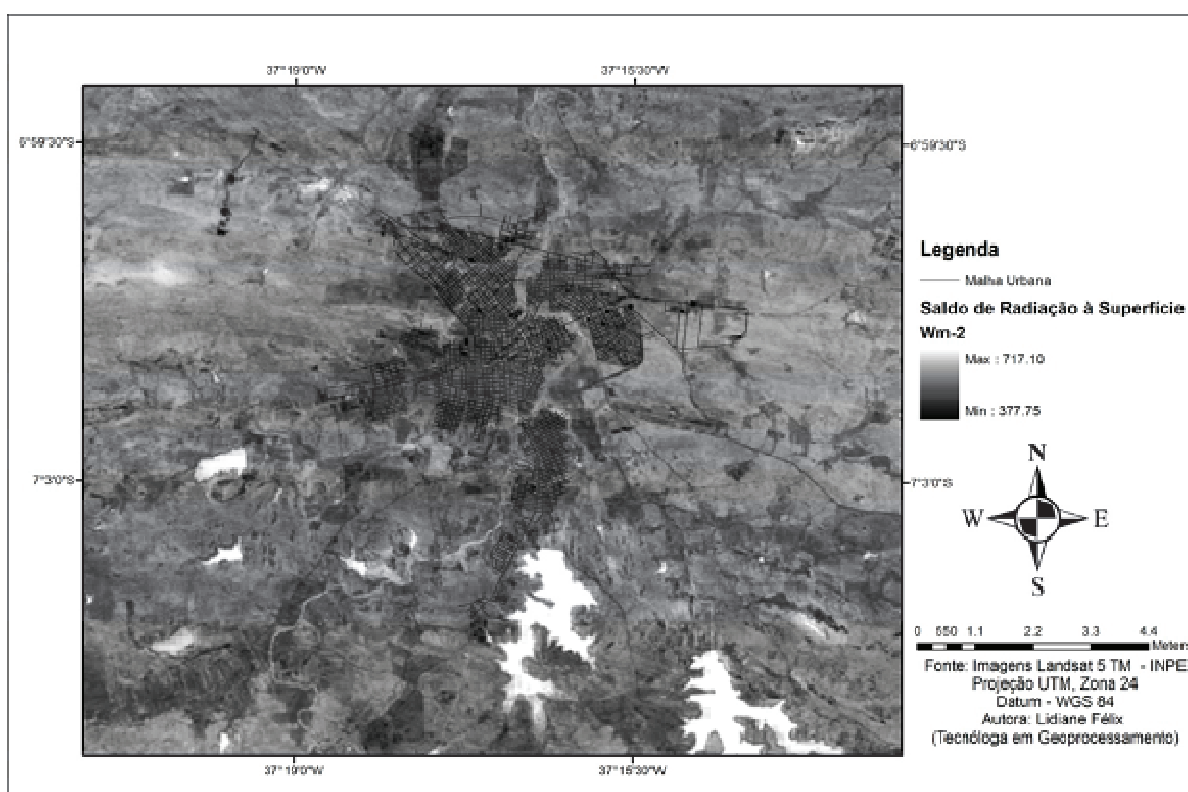


Figura 22. Mapa temático do saldo de irradiância à superfície na cidade de Patos-PB, em 28.08.2010.

Para BIST & BRAS (2010), o saldo de irradiância a superfície tem alta resolução espacial e baixa resolução temporal, quando comparado com observações de campo. A facilidade de se obter atributos da superfície terrestre, muitos trabalhos têm estimado o R_n (com seus parâmetros de entrada) combinando observações remotas com as *in loco* (TEIXEIRA, 2010).

Os valores do fluxo de calor no solo (G) variam de acordo com diversos fatores, tais como a incidência solar, o tipo de solo e a distribuição da cobertura vegetal. Como o fluxo de calor no solo é condicionado pela quantidade de energia solar incidente à superfície, ele apresenta ciclos diário, mensais e anuais, acompanhando o movimento aparente do sol. Por isso, percebe-se que áreas com uma maior cobertura vegetal apresentam fluxo de calor de solo menor que em áreas de solo exposto.

Os dados de fluxo de calor no solo são apresentados na Figura 23, cujos valores variaram entre 98,75 e 60,12 Wm^{-2} , sendo os de tons mais claros indicam presença de água e/ou vegetação. Já, os de valores mais altos, com pico de 98,75 Wm^{-2} se devem à grande quantidade de solo exposto (com tonalidade marrom escuro). Nota-se também na área urbana um comportamento bem próximo ao das localidades com solo exposto. Esses resultados foram bem menores que os encontrados por Lopes et al., (2011) na bacia hidrográfica do Rio Salitre, Sertão da Bahia, que obtiveram uma média de 122,70 Wm^{-2} para solo exposto, 135,11 Wm^{-2} para solo com vegetação rasteira e de 77,57 Wm^{-2} para área com caatinga florestada.

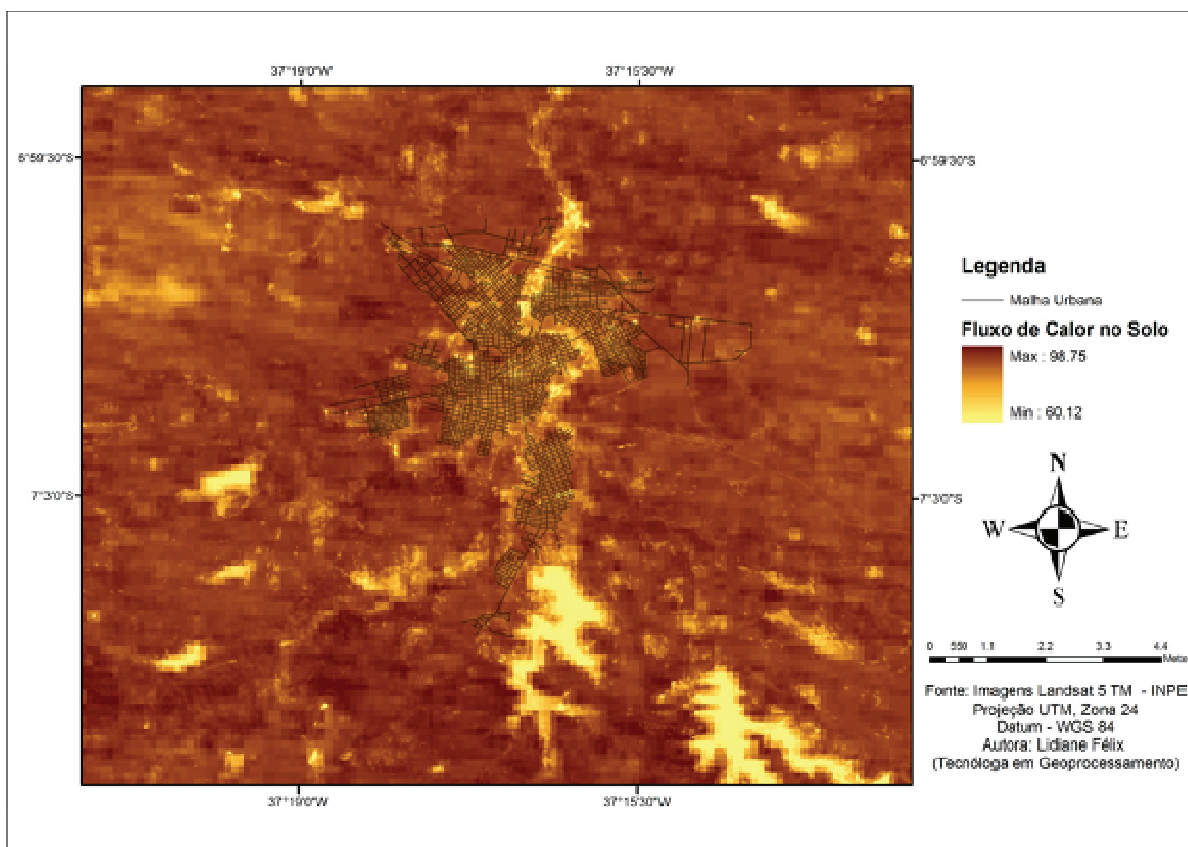


Figura 23. Mapa de fluxo de calor no solo da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Medidas de fluxo de calor no solo nem sempre estão disponíveis. Apesar da importância dessas variáveis, os dados de irradiância solar são muito limitados no Brasil. Assim, um método alternativo para essa avaliação é o uso de satélites (LEIVAS, GUSSO & FONTANA, 2007).

A estimativa do fluxo de calor no solo através do sensoriamento remoto não é tão precisa, quando comparada com outros componentes do balanço de energia. Por que as medidas do fluxo de calor no solo só são representativas para áreas muito pequenas, nas quais sejam minimizadas as influências da variação do tipo de solo e da cobertura vegetativa. No entanto, resultados encontrados por Bastiaanssen et al. (1998) relataram que a incompatibilidade (diferença) se deve ao tamanho do pixel do sensor TM.

Em função da irradiância solar de ondas curtas e, conseqüentemente, do aquecimento diurno, o fluxo de calor sensível é ascendido da superfície em direção a atmosfera. A água como sendo um dos componentes principais do balanço de energia é continuamente transportada pela atmosfera e pela superfície em todas as direções, dando origem aos fluxos de calor latente.

As Figuras 24, 25 e 26 mostram, respectivamente, e de forma resumida, os valores correspondentes aos fluxos de calor sensível, latente e de evapotranspiração para cidade de Patos- PB, no dia 28.08.2010. Na área estudada, observa-se (Figura 24) uma grande variabilidade nos valores de fluxo de calor sensível, oscilando de 0,98 a 433,59 Wm^{-2} .

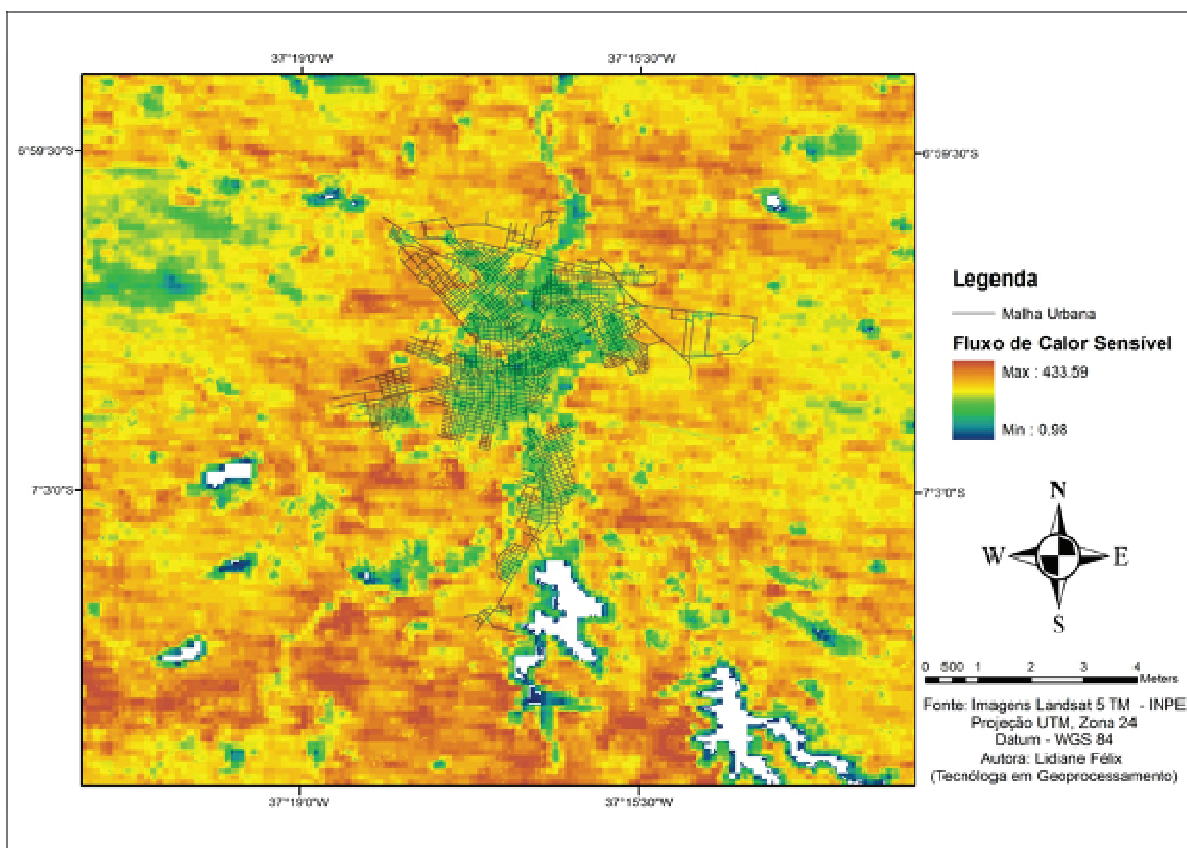


Figura 24. Mapa temático do fluxo de calor sensível da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Nota-se, entretanto, que o maior valor desse fluxo foi obtido para o solo exposto (visto nas cores laranja e amarelo), enquanto que os valores medianos equivalem à zona urbana e nas matas ciliares, cujas cores no mapa referem-se ao azul e o verde. Já os menores valores foram para áreas que contornam os corpos hídricos e nulos nas áreas cobertas com água, devido ao próprio conceito do calor sensível e por isso se destacaram com a cor branca.

Alcântara et al., (2011), utilizando-se dados do satélite MODIS/Terra, para um reservatório no estado de Goiás, estimaram os fluxos de calor sensível e obtiveram valores entre 38 a 50 Wm^{-2} . Acredita-se, entretanto, que esses valores devem-se não somente as resoluções espaciais que foram diferentes, mas as características físicas e localização geográfica. Comparando-se com os fluxos de calor sensível entre -1 a 418 Wm^{-2} encontrados

por Lima et al., (2009), na bacia do rio Paracatu, situada no Médio São Francisco, esses foram bem mais próximos.

Com relação ao fluxo de calor latente (Figura 25), usado na mudança de fase da água, os valores oscilaram entre 4,71 e 598,79 w.m^{-2} , sendo os maiores encontrados para os corpos d'água (representado na citada Figura com tons azulados). No entanto, nas áreas cobertas com vegetação e na sub-bacia do rio Espinharas, os fluxos de calor latente (tom magenta) alcançaram 420,00 w.m^{-2} , enquanto os menores valores foram encontrados na zona urbana e em solo exposto, devido a sua baixa disponibilidade de umidade.

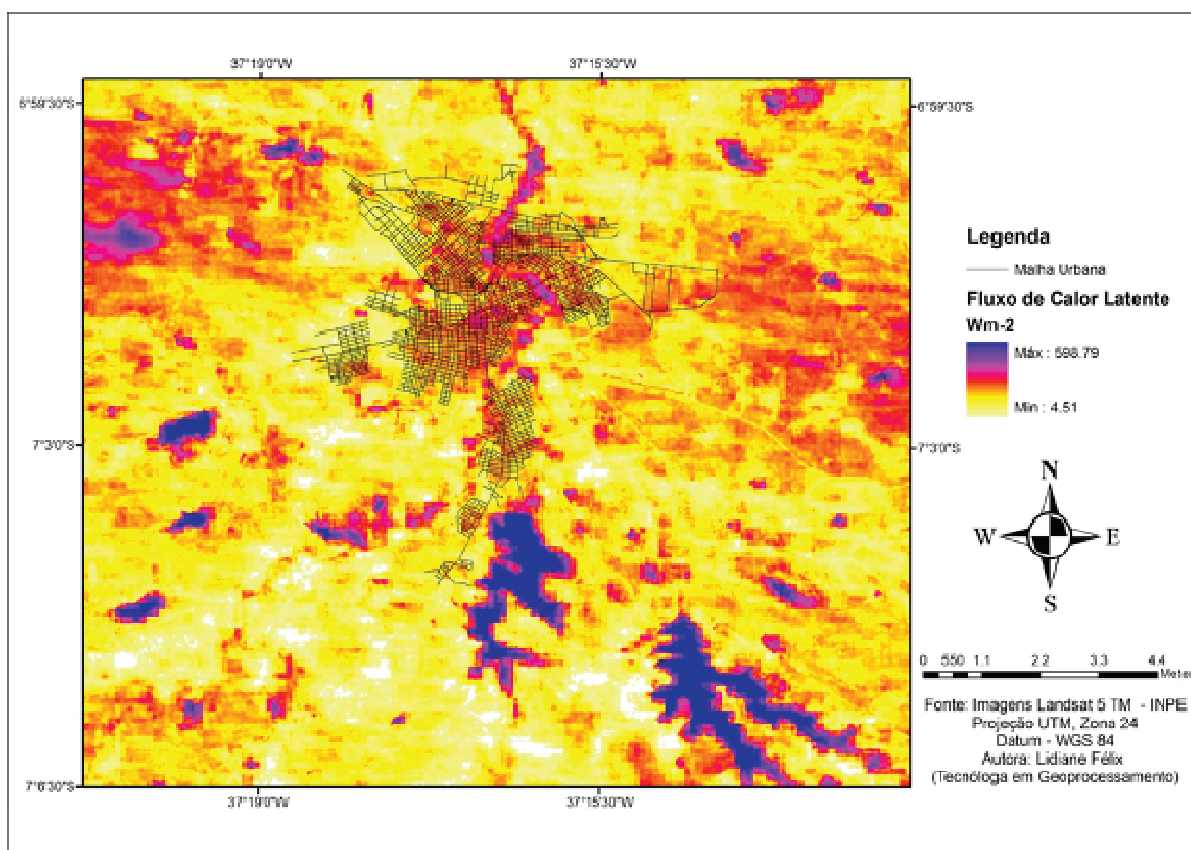


Figura 25. Mapa do fluxo de calor latente da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Lima et al. (2009), encontraram para bacia do rio Paracatu, no Médio São Francisco, fluxos de calor latente variando entre 0 e 616 W m^{-2} , com picos maiores em áreas cobertas com água. Essas diferenças entre si se devem a uma série de fatores, inclusive de ordem metodológica.

Os fluxos de calor sensível e calor latente na superfície terrestre são parâmetros essenciais no estudo dos processos de transporte de calor e de umidade na interface solo-

vegetação-atmosfera. No entanto, limitações impostas por medidas pontuais motivaram a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto não somente para estimar os fluxos de calor sensível e latente, mas a evapotranspiração em grandes áreas. Alguns algoritmos possibilitam as suas estimativas, dos quais, destaca-se o algoritmo SEBAL na determinação da evapotranspiração.

A técnica de sensoriamento remoto, como cita Sousa et al., 2007, tem-se destacado como sendo uma ferramenta importante no monitoramento ambiental, especialmente, na estimativa da evapotranspiração regional (ET) por abranger os processos que envolvem a mudança da fase líquida ou sólida para vapor d'água.

Os valores espacializados da evapotranspiração na área estudada são mostrados na Figura 26, com destaques para os açudes Jatobá e da Farinha e para a sub-bacia do rio Espinharas, áreas essas inseridas na cidade de Patos-PB.

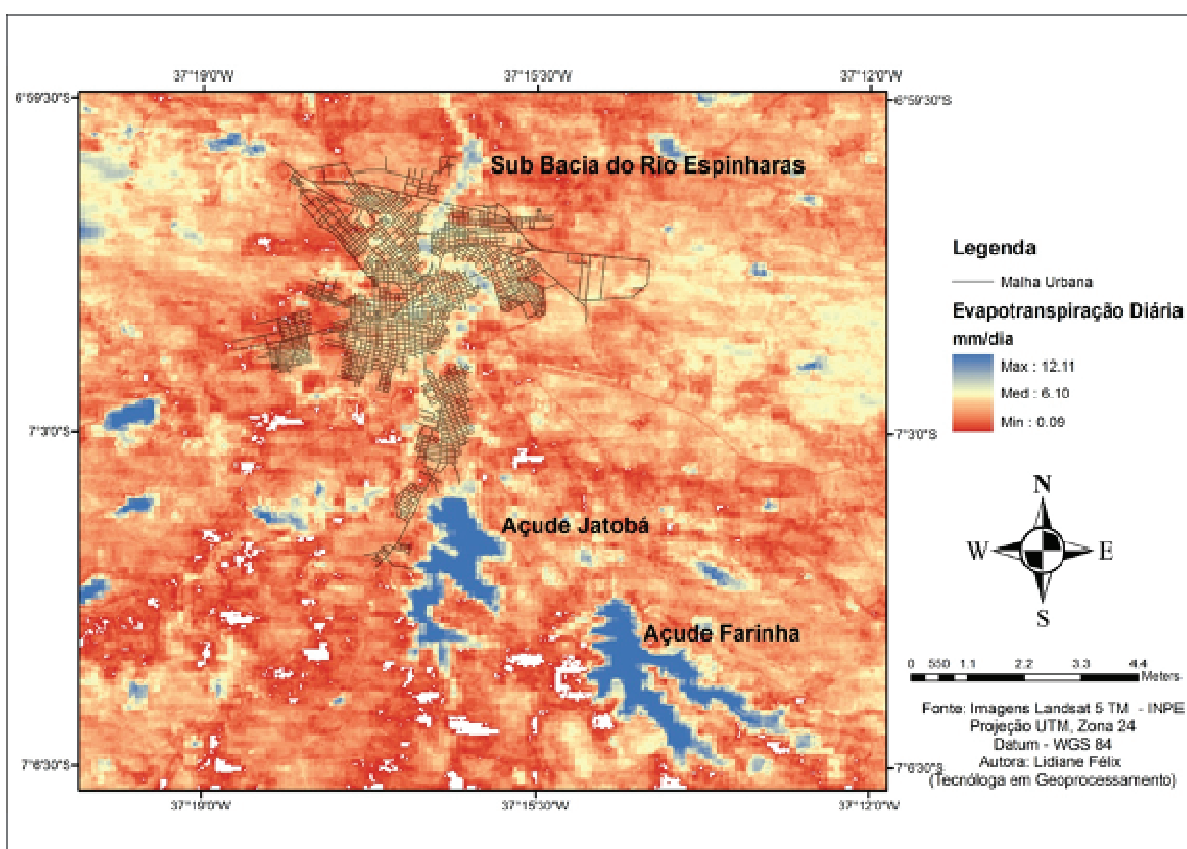


Figura 26. Mapa temático da evapotranspiração diária da cidade de Patos- PB, em 28.08.2010.

Como pode ser observado na legenda da Figura 26, valores de ET variaram entre 0,09 a 12 mm, no dia 28.08.2010. A tonalidade azul, facilmente identificada na citada Figura, indica os maiores valores da evapotranspiração e referem-se às áreas dos citados açudes e da sub-bacia do Espinharas. Nas áreas cobertas com mata ciliar, a ET se aproximou de 9 mm, enquanto o mínimo (0,09 mm), na cor vermelho equivale a zona urbana e/ou nas áreas com solo exposto.

Como a evapotranspiração depende da disponibilidade de energia disponível no meio, a comparação só será possível se o local a ser comparado tiver o mesmo valor de energia disponível. Se não houver essa igualdade, não se pode fazer qualquer comparação e se fizer é mera especulação e sem nenhum fundamento científico.

É importante destacar que, a rápida expansão urbana tem modificado o espaço geográfico, sobretudo quando se trata de qualidade ambiental. Diversos estudos mostram que a modificação do uso e da cobertura do solo têm contribuído com oscilações importantes nos elementos meteorológicos referentes ao balanço de energia e, conseqüentemente, a temperatura, por exemplo.

O balanço de energia é o mecanismo do sistema cidade-atmosfera mais afetado pela urbanização. O fluxo de calor latente, por exemplo, é o que apresenta uma mudança mais abrupta uma vez que as áreas úmidas e produtoras de umidade são reduzidas em locais altamente urbanizados. Por isso, se diminuir o fluxo de calor latente incrementa-se o fluxo de calor sensível, que gera um maior aquecimento do ar superficial e, portanto, a temperatura. Essa anomalia térmica denomina-se de ilha de calor, em que a temperatura da área urbana tende a ser superior à da área rural.

O balanço de energia compõe etapas importantes que podem ser avaliadas de forma isolada ou agrupada com os demais componentes, visto que uma variável obtida pode ser de grande valia para um estudo ambiental, como é o caso da obtenção dos índices de vegetação ou da temperatura da superfície, como também os resultados podem ser analisados de forma agrupada, visto que uma alteração nos valores obtidos em alguma etapa irá interferir nas demais, como é o caso do albedo da superfície que esta diretamente ligada aos elementos que estão dispostos na superfície terrestre. De fato o balanço de energia é de fundamental importância para o acompanhamento das alterações ocorridas ao longo dos anos na superfície terrestre e sua interação com a atmosfera.

5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitem concluir que:

a) As técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas promissoras para estimar, espacialmente, os componentes do balanço de energia;

b) Os índices de vegetação como o NDVI, SAVI e IAF constituem em indicativos importantes tanto no monitoramento ambiental quanto na quantificação da vegetação;

c) O índice de área foliar se mostrou diretamente relacionado com a taxa de evapotranspiração, visto que a vegetação só se apresentou destacados próximos aos corpos hídricos;

d) O índice de reflexão da superfície (albedo) foi inversamente proporcional ao de cobertura vegetal, ou seja, áreas com maior albedo foram aquelas com menor índice de vegetação;

e) A evapotranspiração diária obtida máxima se aproximou dos 12mm nos corpos d'água e as demais áreas, como são em sua maioria regiões secas e solo desnudado se aproximaram de 0,09mm, o que condiz para a localidade que possui clima semiárido, no qual a maior parte do ano recebe uma grande quantidade de radiação solar e um curto período chuvoso.

f) Resultados obtidos por outros autores confirmaram ao longo da pesquisa, que os resultados obtidos se apresentaram dentro dos valores esperados para cada alvo analisado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E. H.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; NOVO, E. M. L. M.; SOUZA, A. F. **Estimativa dos fluxos de calor sensível e latente na superfície da água do reservatório de Itumbiara (GO) por meio de dados MODIS/Terra**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p.5185. 2011.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D.; SMITH, M. - Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**. Rome, Italy, p.297- 301, 1998.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) - Advanced Training and Users Manual - Idaho Implementation, version 1.0**, 2002.
- BASTIAANSEN, W.G.M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MORENO, Y.M.J.; ROERINK, G.J.; VAN DER WAL, T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213: p. 213- 229, 1998.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hidrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BEZERRA, B. G., SILVA, B. B., & FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 3, 305-317, 2008.
- BISHT, G.; BRAS, R. L. Estimation of net radiation from the MODIS data under all sky conditions: Southern Great Plains case study. **Remote Sensing of Environment**. v.114 p.1522– 1534. 2010.
- CHAVES, LUIZ C. G.; RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, EUNICE M. DE ANDRADE. **Uso do SEBAL na variação temporal do albedo de superfície na bacia do Forquilha, Ceará, baseado em imagens LANDSAT 5-TM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, INPE, p. 5695-5702.
- COLTRI, P. P., VELASCO, G. DEL NERO, POLIZEL, J. L., DEMETRIO, D. A., FERREIRA N. JESUS. **Ilhas de Calor da estação de inverno do município de Piracicaba, SP**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, p. 5151-5157, 2007.

DEMARCHI, JULIO CESAR; PIROLI, EDSON LUÍS; ZIMBACK, CÉLIA REGINA LOPES. **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.** RA'E GA 21, p. 234-271. 2011.

Engesat. (s.d.). Disponível em Engesat: <http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>. Acesso em 18 de 05 de 2011.

GIONGO, PEDRO R.; MOURA, GEBER B. DE A.; SILVA, BERNARDO B.; ROCHA, HUMBERTO R., SÉRGIO SILVA, R. R.; NAZARENO, AÉERICA C. Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.3, p.279–287, 2010.

GOMES, L. C.F.; SILVA, G. J.F.; TAVARES, A.L. **Análise Temporal De Índices De Vegetação Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto.** IV Simpósio Internacional de Climatologia.2011.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index - SAVI. **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

<http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Multimidia/Imagens/Eletromagnetismo/Espectro-eletromagnético>. (s.d.). Acesso em 20 de agosto de 2011, disponível em <http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por>.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de 07 de 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente.** São José dos Campos - SP: Editora Parêntese.2009.

IDEIÃO, SANDRA MARIA ARAÚJO. **Imagens Multiespectrais e Aplicações em Recursos Hídricos: Temperatura da Superfície e Balanços de Radiação e Energia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, 2009.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C. **Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens ASTER,** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Abr. 2007, p. 255-262.

LILESAND, T. M., KIEFER, R. W., & CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image**

interpretation. John Wiley & Sons. 1995.

LIMA, E. P, ANDRADE, R. G., SEDIYAMA, G. C., DELGADO, R. COLL, FERREIRA, A.S., CAPUTI, EDUARDO, FERREIRA, W. JOSÉ. **Estudo da evapotranspiração real diária utilizando imagem de satélite na bacia do rio Paracatu.** Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, IPABHi, p. 1-8, 2009.

LIMA, E. P, ANDRADE, R. G., SEDIYAMA, ANDRADE, R. GUIMARÃES, DELGADO, R. COLL, SOARES, V. PAULO, GLERIANI, JOSÉ M. **Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 – TM.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, p. 247-254. 2009.

LOPES, H. L.; TEIXEIRA, A. H. C.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Relações do fluxo de calor no solo com o uso e cobertura das terras na bacia hidrográfica do salitre, sertão da Bahia.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p.5785. 2011.

Ministério da agricultura, p. e. Embrapa - Monitoramento por satélite. Disponível em Sistemas orbitais de monitoramento e gestão territorial: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/landsat.htm>. Acesso em 27 de 05 de 2011.

MACHADO, C.C.C.; GALVÍNCIO, J.D., PEREIRA, E.C.G. **Utilização do IVAS e da Temperatura da superfície para análise multitemporal das mudanças ambientais no Parque Natural da Serra da Estrela (Portugal).** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

Manual do SEBAL (em meio digital – CD): ALLEN, R.G., TASUMI, M., TREZZA, R., WATERS, R. & BASTIAANSEN, W. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and User’s Manual.** Idaho, p. 98, agosto de 2002.

MENDONÇA, JOSÉ C.; ROMÍSIO, G. B. ANDRÉ; MARQUES, S. VALDO; PINHEIRO, FRANCISCA M. A.; CHAVES, ROSANE R. **Análise do Albedo à Superfície a partir de Produtos Modis.** XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2010.

MENEZES, S.J.M. DA COSTA, ANDRADE, R. G., SEDIYAMA, G. C, SOARES, V. PAULO, GLERIANI, J. M. **Estimativa dos componentes do Balanço de Energia e da Evapotranspiração em Plantios de Eucalipto utilizando o algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5 – TM.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5394.

MOREIRA, ELVIS BERGUE MARIZ., NÓBREGA, RANYERE SILVA. **Identificação Do Fenômeno Ilhas De Calor Na Área Urbana Do Recife-Pe, Através Do Canal Infravermelho Termal Do Satélite Landsat 5**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p.0768. 2011.

NAGLERA, P. L., CLEVERLYB, J., GLENN, E., LAMPKIN, D., HUETE, A., & WAN, Z. Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation indices and meteorological data. **Remote Sensing of Environment** , 94, 17–30. 2005.

NOVO, E. M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. São Paulo: Blucher.2010.

OLIVEIRA, T. H.; GALVÍNCIO, J. D.**Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Moxotó – Pe usando sensoriamento remoto termal**. Revista Brasileira de Geografia Física. Vol.1 n.02, 30-49 2008.

PACE, FREDERICO T. DI; SILVA, BERNARDO B.; SILVA, VICENTE DE P. R.; SILVA, SAULO 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.

PEREIRA, A. R., NOVA, N. A., & SEDIYAMA, G. C. **EVAPOTRANSPIRAÇÃO**. Piracicaba: FEALQ.1997.

PERES, L. F. ; FRANÇA, J. . **Estimativa do fluxo de radiação de onda longa emitido diariamente pela superfície terrestre usando dados do NOAA-AVHRR**.. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1998.

ROSA, R. (2007). **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU.

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

ROSEMBACK, ROBERTA; FRANÇA, A. M. SILVA; FLORENZANO, T. GALLOTTI. **Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana**. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p. 1075-1082. 2005.

SILVA, B.B.; MENDONÇA, R.R.O., SILVA S.T.A., FERREIRA, R.C. 'Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do estado do Ceará com imagens TM – Landsat 5', **Revista de**

Geografia, vol. 25, n. 2, p. 33-52, 2008.

SOUSA, A. M. L. et al. **Estimativa da evapotranspiração real derivada do sensor MODIS: aplicação no leste da Amazônia**. In: Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste, 2., 2007.

TEIXEIRA, A. H. de 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.

TREZZA, R. Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with standardized ground control. 247f. **Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering)**. Utah State University. Logan, Utah, 2002.

VEISSID, N.; PEREIRA, E. B. 'Estimativa do albedo planetário empregando dados do experimento célula solar do satélite brasileiro SCD2, *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 18, 2000.

ANEXOS

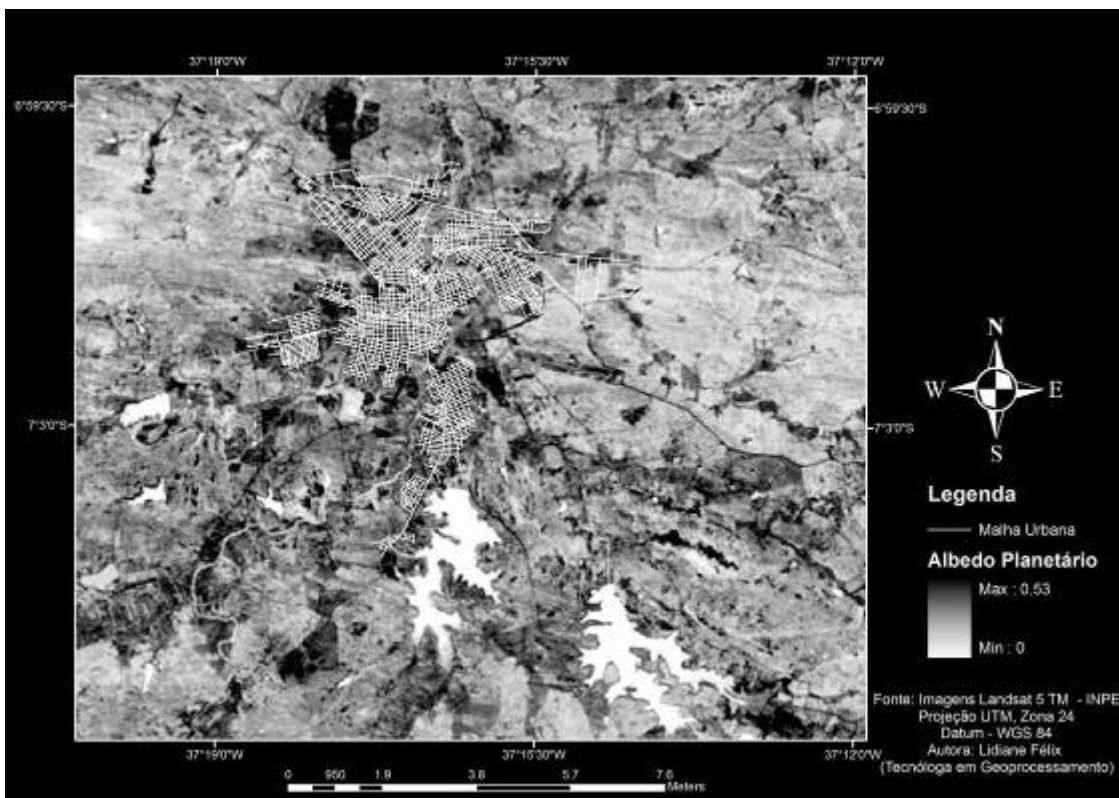


Figura 27. Distribuição espacial do albedo planetário.

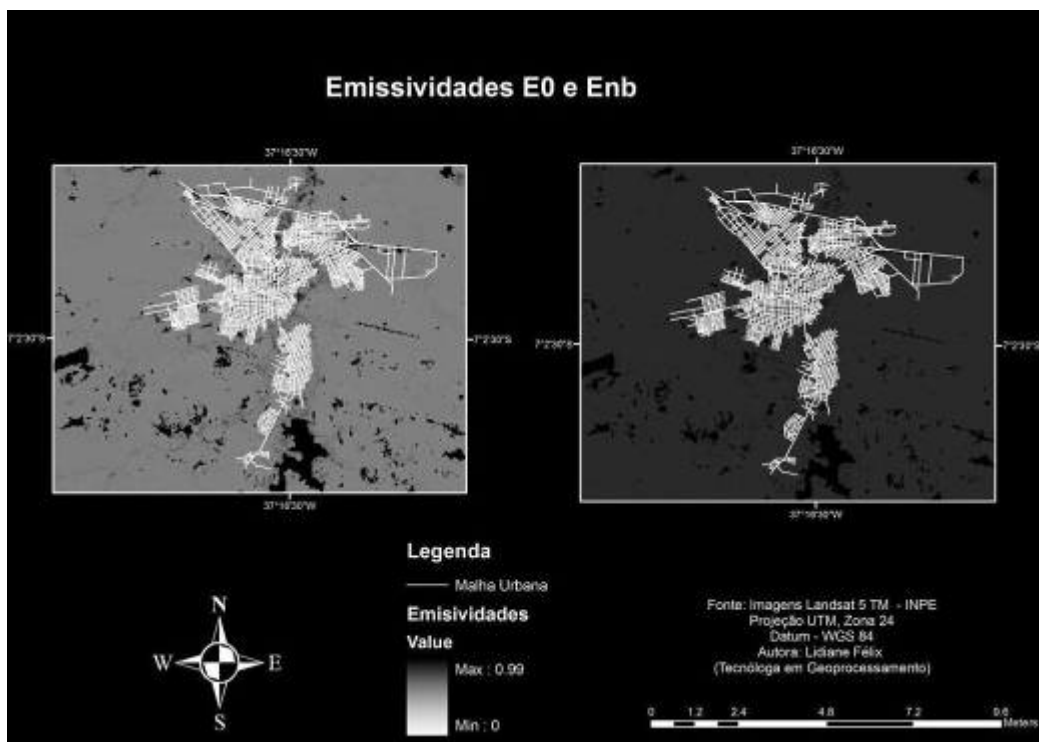


Figura 28. Mapa temático das Emissividades E0 e Enb1.