

Análise comparativa dos mapeamentos de temperaturas
obtidos por imagens termais e medidas de campo em Belo
Horizonte – MG

Jorge Luis Costa Pinto
UFMG

Fabrizio Sousa da Silva
UFMG

Marcos Antônio Timbó Elmiro
UFMG

Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega
UFMG

Resumo

Dentre as inúmeras variáveis utilizadas em modelos geoambientais, a temperatura se destaca pelas limitações e adaptações naturais e antropogênicas. Seus reflexos influenciam diretamente o ambiente e alteram a condição do habitat. A interação da energia solar e cobertura do solo é peça-chave para entender o ambiente e planejar ações para melhoria ou sustentabilidade da qualidade de vida neste ambiente. Para o ambiente urbano, mapear a variação da energia solar presente na baixa atmosfera pode subsidiar estudos relacionados ao comportamento humano bem como fauna e flora e sua relação com o ambiente. Neste sentido, o presente artigo objetiva comparar o uso de imagens termais do Sensor TM/Landsat-5, com dados coletados em pesquisa de campo para as temperaturas do ar em Belo Horizonte-MG referentes a 2008. Os resultados indicam o potencial do sensor TM para fornecer dados capazes de representar a variação contínua da temperatura urbana com resíduos médios de 1,37°C. A análise considerou um rigoroso controle de correspondência data/hora para o mesmo dia e tempo dos dados de campo, o que aumenta a confiança do modelo proposto como adequado para suportar a aquisição remota de temperatura de superfície. É importante destacar a disponibilidade dos dados TM/Landsat para replicar o modelo.

Palavras-chave: Krigagem Ordinária,
Temperatura e TM/Landsat-5

Abstract:

Among a vast number of variables used in geo-environmental models, the temperature stands out due both natural and man-made limitations and modifications. The temperature directly influence the conditions of an environmental habitat. The solar energy/land cover interaction is a key to understand the environment as well as for planning actions to improve or sustain quality of life. For urban environments, mapping the variation of solar energy present in the lower atmosphere can support studies related to human behavior, as well as fauna and flora, and its connections with the space to which they are inserted. Thus, this paper aims to develop a comparative analysis of thermal images of the sensor TM/Landsat-5 and ground-collected data of air temperature in Belo Horizonte-MG for 2008. The results indicate the potential of the TM sensor to provide data capable of representing the continuous variation of urban temperature with average residues of 1.37°C. The analysis considered a rigorous day/time matching control for the same day and time of the field data, which increase the confidence of the proposed model as suitable to support the remote acquisition of surface temperature. It is important to highlight the availability of TM/Landsat data to replicate the model.

Key-Words: Ordinary Kriging, Temperature and TM/Landsat-5.

jorge.lcp@hotmail.com
fabriciosousasilv@gmail.com
mtimbo@ufmg.br
raanobrega@ufmg.br

Introdução

São vários os efeitos negativos provenientes da alteração climática em ambientes urbanos com destaque para enchentes, deslizamentos de terra além de danos causados à saúde humana. Nesse contexto, segundo Ayoade (2003), as próprias condições naturais dos ambientes, e também as alterações que o homem provoca em um local, têm a sua parcela de contribuição na constituição ou alteração do micro clima local e das consequências que se sucedem.

Monteiro (1991), entende o clima como sendo o conjunto de fenômenos de caráter meteorológico (ordem geofísica) que se determina pelo estado temporal da atmosfera em determinado lugar da superfície terrestre. Assim, é possível perceber que a influência do clima pode ser local ou global, sendo constituídas assim as escalas climáticas.

Como parte do clima global, o clima urbano, caracterizado pelas interações de micro e macro escalas, também passam por transformações. As transformações ocorridas nesse contexto estão relacionadas ao crescimento desordenado das áreas urbanizadas provocando a degradação do meio natural.

Os inconvenientes mais comuns presentes no cotidiano das cidades relacionadas ao clima são os alagamentos e transbordamentos de canais. Além destes inconvenientes relacionados, outros podem ser citados em decorrência da condição térmica “dos quais a ilha de calor e a poluição do ar destacam-se como as mais notáveis” (LOMBARDO, 1985).

Dessa forma, a análise das características climáticas de locais urbanos fornece subsídios para gestão pública e principalmente para contribuir com o bem estar e o conforto da população, população essa que já sofre com tantos outros problemas decorrentes da falta de infra-estrutura das cidades brasileiras. Barbosa e Vecchia (2008), ressaltam que a utilização de dados captados na região do infravermelho termal permite a realização de estudos do comportamento térmico das diferentes tipologias de cobertura do solo. Esses estudos fornecem informações relativas à temperatura aparente da superfície.

Nesse contexto, as geotecnologias são ferramentas que têm cooperado na identificação de fenômenos ligados ao comportamento do clima urbano. Ferramentas de mapeamento e, principalmente, imagens de satélites estão na vanguarda dessas pesquisas. Mediante essas premissas, o presente artigo objetiva comparar temperaturas obtidas por meio de dados do satélite TM/Landsat-5 com dados coletados em campo, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, no ano de 2008, publicado por Assis (2010). Essa comparação permite validar a capacidade do método de sensoriamento remoto tendo em vista que sua aplicação é mais simples e econômica.

Estimativa da temperatura por meio de dados termais

Inúmeros fatores influenciam a temperatura da superfície terrestre, assim como a temperatura do ar. Goward (1981) e Ayoade (2003) citam o albedo, emissividade da propriedade termal usada nas construções e estrutura urbana, quantidade de insolação e radiação recebida, distância dos corpos hídricos, relevo, ventos predominantes, variações sazonais, latitude e grau de continentalidade como os fatores responsáveis pela variação das temperaturas nos dois ambientes. Portanto, existe uma relação direta entre a temperatura do ar e a temperatura da superfície terrestre, porém são elementos distintos.

A literatura atual apresenta vários trabalhos com o objetivo de extrair informações da temperatura da superfície terrestre por meio do Sensoriamento Remoto. A técnica consiste em parametrizar o comportamento dos alvos na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético. Sigmund (1963) foi um dos precursores da extração de informações termais por

sensores remotos, ao analisar imagens termais do satélite Tiros II para detectar ilhas de calor na região central dos Estados Unidos. No Brasil, Lombardo (1985) identificou ilhas de calor na Região Metropolitana de São Paulo com o sensor TM/Landsat-5, banda 6.

São várias as formas que, matematicamente, estimam a temperatura a partir de imagens termais. Bariou et al. (1993) caracteriza essas técnicas como sendo genéricas e, em sua maioria, possuidoras de subestimação de temperatura, uma vez que, em grande parte dos trabalhos, não são realizadas correções das reais emissividades de cada cobertura do solo e correções atmosféricas. Esses fatores podem influenciar na determinação da temperatura num dado local. Independente da técnica, a extração da temperatura da superfície, via dados termais, perpassa pela teoria de Planck, onde, quanto maior a temperatura maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro, em um dado comprimento de onda, (LOMBARDO, 2003). Entretanto, diferentes coberturas do solo apresentam diferentes índices de emissividade (BARTOLIUCCI; CHANG, 1988).

Segundo Nascimento (2011), os Sensores Remotos armazenam dados nas imagens em pixels discretos, de forma que na região do infravermelho termal, a média dos valores da radiação emitida pelos alvos inseridos na área de cada pixel, pode ser convertida em temperatura. O alvo mais representativo da área do pixel, que varia conforme a resolução espacial, será o principal componente do valor do pixel, o que aliado a erros de registro das imagens, geram generalizações. Deve-se levar em consideração a atuação dos sensores orbitais em áreas urbanizadas. Muitas vezes é captado o comportamento em nível de telhados, distinguindo-se da temperatura da superfície e da temperatura do ar. Logo, a natureza da extração gera diferenças entre os métodos para estimar os valores e a distribuição da temperatura em ambientes urbanos. Por esse motivo, o valor de temperatura obtido por dados termais pode ser identificado como “temperatura aparente” (T_a) da superfície (SOBRINO et al., 1993).

A correção atmosférica é comumente citada como essencial para alcançar resultados próximos da realidade. No entanto, Souza e Silva (2005) identificaram variações muito pequenas nos resultados de temperaturas usando dados com e sem correções atmosféricas. Segundo Nascimento (2011), os resultados demonstram a irrelevância em alguns casos para a correção atmosférica. Tal fato é explicado pela presença de janela atmosférica na região do infravermelho termal (de 8 a 14 μm), caracterizada como a região onde ocorrem baixas interações da atmosfera com a radiação emitida ou refletida pela superfície da Terra (NOVO, 2008).

Estimativa com apoio de plataforma SIG

A plataforma SIG IDRISI trabalha com as duas possibilidades de estimar a temperatura, utilizando dados termais oriundos de imagens de satélite. A disponibilidade de dois algoritmos fornece duas respostas termais: a clássica temperatura aparente (conversão do número digital do pixel) e a temperatura real com correção de emissividade (temperatura da superfície). A conversão de imagens térmicas em temperatura de um corpo negro é executada no IDRISI por meio do módulo Thermal, que segue metodologias estabelecidas na literatura científica. Na primeira técnica, os valores da temperatura superficial são gerados a partir de modelos matemáticos, que convertem o número digital do pixel (DN) e seu tom de cinza para o nível de radiância da terra. Para isso, utiliza-se uma predição de temperatura aparente da superfície na escala Kelvin, de acordo com Chander e Marckham (2003), conforme a equação (1):

$$L\lambda = offset + gain * DN \quad (1)$$

$$Tb = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda}\right) + 1}$$

Onde o offset, o ganho e as constantes k1 e k2 são parâmetros definidos pelo usuário. O manual do IDRISI recomenda os valores k1 = 666.09 e k2 = 1282.71, configuração já pré-estabelecida devido à calibração do Sensor TM/Landsat-5. O DN (número digital) define a temperatura do corpo Negro. Tb é a temperatura do corpo negro e L o comprimento de onda da radiação.

Na segunda técnica, é possível trabalhar com a correção dos reais valores obtidos por cada cobertura do solo. Para isso, uma banda de emissividade real (tabelada) é multiplicada pelos valores observados na imagem termal. Os comportamentos de cada cobertura são descritos na Tabela 1, segundo Bartoliucci e Chang (1988).

Quando não existe a banda emissividade em sua matriz, tem-se a possibilidade de inserir o wavelength (comprimento de onda) médio da banda termal, de modo a identificar a faixa de temperatura na qual o corpo reagirá. Dessa forma, se alcança a temperatura em nível do ambiente, fazendo com que a reflectância se desloque no comprimento de onda, onde toda a imagem é considerada como um corpo negro.

Tabela 1. Emissividade específica de cada corpo

Material	Typical Average Emissivity
	Over 8-14 microns
Clear water	0.98-0.99
Wet snow	0.98-0.99
Human skin	0.97-0.99
Rough ice	0.97-0.98
Healthy green vegetation	0.96-0.99
Wet soil	0.95-0.98
Asphaltic concrete	0.94-0.97
Brick	0.93-0.94
Wood	0.93-0.96
Basaltic rock	0.92-0.94
Dry mineral soil	0.92-0.94
Portland cement concrete	0.92-0.94
Paint	0.90-0.96
Dry vegetation	0.88-0.94
Dry snow	0.85-0.90
Granitic rock	0.83-0.87
Glass	0.77-0.81
Sheet iron (rusted)	0.63-0.70
Polished metals	0.16-0.21
Aluminum foil	0.03-0.07

O procedimento é baseado em técnica proposta por Artis e Carnahan (1982), com base na lei inversa de Planck, conforme a equação (2).

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{hc}{\lambda T_b}\right) \cdot \ln \varepsilon} \quad (2)$$

Onde T_s é a Temperatura da superfície em Kelvin; T_b é a temperatura ideal de emissão se fosse um corpo negro perfeito; λ é o comprimento de onda médio do infravermelho termal (11,5 micrômetros); hc/K (1.438×10^{-2} m K), onde: K é a constante de Stefan-Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K); h é a constante de Planck (6.28×10^{-34} J/seg); c é a velocidade da luz (2.998×10^8 m/seg) e \ln é o logaritmo natural da emissividade da superfície.

Procedimentos metodológicos

A metodologia da pesquisa compreendeu a extração da temperatura com o suporte do IDRISI em Imagens Landsat TM 5, o processamento dos dados medidos em campo e a análise comparativa das temperaturas obtidas pelos dois métodos (Figura 1). Os passos principais e detalhes do método são descritos nos itens a seguir.

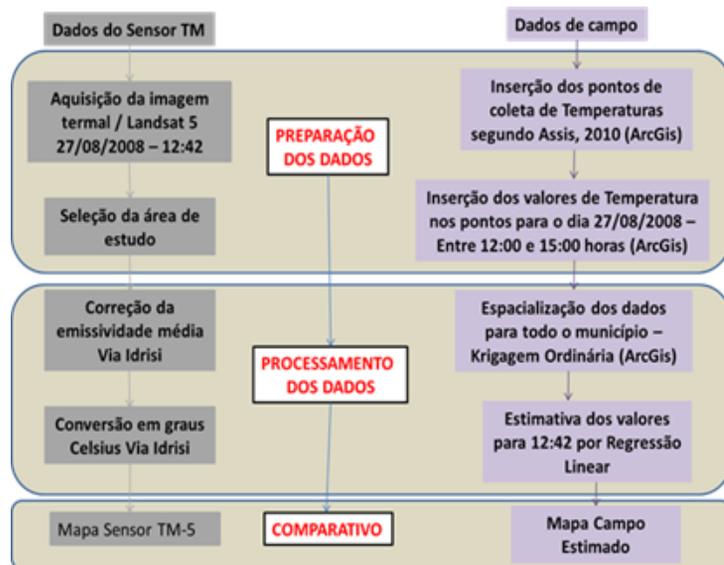


Figura 1. Fluxograma da pesquisa

Extração da temperatura

Para a extração da temperatura aparente da superfície, foi utilizada a imagem do sensor TM/Landsat-5, banda termal (canal 6), com resolução espacial de 120m obtida do catálogo do INPE. A imagem é referente à órbita/ponto 218/74 do dia 27/08/2008, horário de 12:42 que cobre o município de Belo Horizonte e vizinhanças.

A imagem Landsat foi processada no módulo Thermal do IDRISI, e corrigida com a ferramenta RECLASS (Figura 2) com o comprimento de onda em 11,15 micrômetros de acordo com a metodologia proposta por Artis e Carnahan (1982) (equação 2). Posteriormente foi efetuada a conversão da temperatura na escala Kelvin para a escala de graus Celsius (°C). O procedimento foi feito a partir da subtração do valor de 273.15, correspondente ao ponto de congelamento da água ao nível médio do mar.

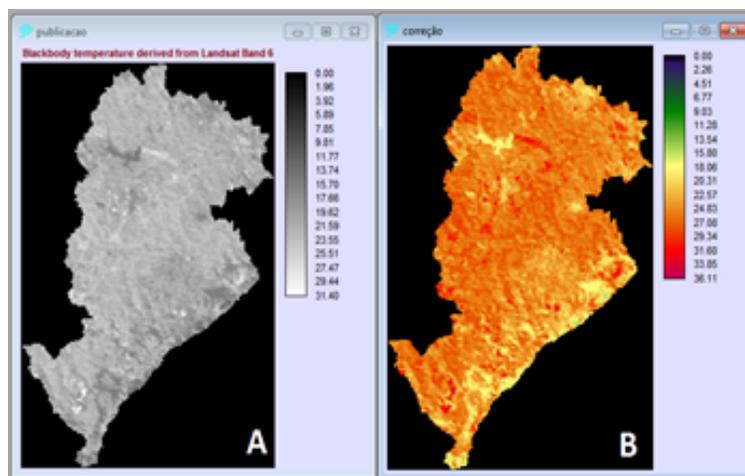


Figura 2. Imagens termiais, com resolução de 120 m.: a) Thermal
b) Thermal + Reclass

A plataforma IDRISI opera os dados em um formato interno particular (.rst) que deve ser transformado para uso em outras plataformas, portanto, os dados foram convertidos para o formato GEOTIFF, aceito em todas as plataformas GIS. Para a estruturação espacial dos dados, foi utilizado o Sistema ArcGis 10.1 no Sistema de Projeção UTM, zona 23 Sul e Datum Geodésico SAD 69. Para recortar a imagem e analisar apenas o território de Belo Horizonte, foi utilizada a ferramenta Extract by Mask. Como referência para a “máscara”, foi utilizada a base geográfica da Empresa de Informática e Informação do município de Belo Horizonte (PRODABEL, 2011).

Dados coletados em campo

Os dados de campo foram compilados dos estudos de Assis (2010) que realizou pesquisa para analisar a evolução do clima belorizontino através das unidades climáticas naturais e urbanas. Os dados foram coletados em pontos estratégicos da cidade para medir a temperatura, a umidade relativa do ar e a intensidade e direção dos ventos. Uma das coletas foi realizada no período de 21 a 30-08-2008 entre as 00:00 e 21:00 horas com intervalo de três horas entre coletas. Para o presente artigo, utilizou-se apenas os valores da temperatura do ar do dia 27-08-2008, mesma data de aquisição da imagem.

As coletas de campo foram registradas com termo-higrômetros instaladas em abrigos meteorológicos (Steven Screen) a 1,5 m da superfície. Segundo Assis (2010), no dia 27-08-2008 o tempo permaneceu estável, com pouca nebulosidade e ventos fracos, o que possibilitou o aumento gradativo da temperatura entre 12:00 e 15:00 horas sem interferências atmosféricas.

Com o objetivo de comparar os dados no mesmo horário, foi feita a estimativa pelo método de interpolação nos dados coletados em campo entre 12:00 e 15:00 horas para adequação com o mesmo horário da aquisição da imagem. O resultado dessa estimativa foi denominado Campo Estimado / 12: 42 e usado para as análises dos resultados, porém, também são apresentados os dados da coleta no campo ao meio dia, denominado Campo / 12:00. Os pontos relativos aos dados de campo foram georreferenciados no sistema de coordenadas em UTM.

Análise comparativa

Para o comparativo entre os dados obtidos a partir da imagem termal e os dados de campo, foram elaborados os mapas da temperatura em graus Celsius a partir do Sensor TM/Landsat-5, o mapa com os dados do Campo Estimado / 12:42, o gráfico comparativo e a tabela com o resumo estatístico.

O mapa gerado com base na banda termal do Sensor TM/Landsat-5 originou um plano de informação raster produzido no módulo Thermal do IDRISI que, foi exportado em formato ASC II para o sistema Arcgis 10.1. O formato ASC II permite a criação de um raster portador de uma tabela de atributos na qual pode se indicar os valores máximos e mínimos que serão distribuídos na tabela e, que são os valores de cada DN. Os valores escalonados do DN foram os mesmos identificados no Idrisi, conforme a Figura. 1.

Para o mapa com os dados do Campo Estimado / 12:42, foram usados os registros de campo de Assis (2010) e, seguiu-se a metodologia abordada por Andriotti (2003) usando a interpolação pelo método de Krigagem Ordinária. Em testes realizados com os métodos de interpolação, Inverse Distance Weighting, Radial Basis Functions, Local Polynomial Interpolation e Ordinary Kriging, Assis (2010) identificou o último como o melhor modelo de distribuição espacial dos parâmetros meteorológicos. A escolha foi feita com base na suavização das isolinhas que não apresentam falhas na superfície gerada pelo interpolador.

Os parâmetros usados na ferramenta de krigagem disponível no Arcgis 10.1 foram: Krigagem Ordinária, onde o campo Z corresponde ao Grid Code (temperatura), tamanho da célula de saída 89 metros, número de pontos 25 (os mesmos identificados em campo) selecionando-se a opção de variabilidade do raio, devido ao objetivo de representar espacialmente as influências dos pontos de coleta na cidade.

Após a elaboração do mapa com dados do Sensor TM/Landsat-5, foi possível identificar os valores da temperatura em graus Celsius nos respectivos pixels dos pontos de coleta georreferenciados com base nos dados do Campo Estimado / 12:42. Com isso, foi efetuada a tabulação dos valores da temperatura da imagem termal e dos pontos de coleta em campo, o que possibilitou elaborar o gráfico comparativo e a tabela estatística.

Para o cálculo dos resíduos, foi feita a subtração entre os resultados do Sensor TM 12:42 e Campo Estimado /12:42, ambos em graus Celsius. O erro médio relativo foi calculado com base na média dos resíduos dividido pela amplitude da variação do Sensor TM/Landsat-5 em cada pixel, destacando o erro médio do sensor de acordo com a sua variação interna. Foram considerados outliers os pontos que ultrapassaram três desvios padrão com base na natureza amostral dos resíduos.

Discussão dos resultados

A Figura 3 apresenta os mapas elaborados com dados obtidos por meio do Sensor TM/Landsat-5 e, com os dados de Campo Estimado / 12: 42. As temperaturas identificadas em campo revelam os valores precisos pontualmente, que aliados à interpolação por técnicas de Krigagem possibilitam a sua distribuição espacial contínua. No entanto, é notável a generalização do Campo Estimado 12:42 em grandes áreas, onde não são contempladas pequenas variações locais. Neste sentido, mesmo com as limitações da resolução espacial (120m), a configuração apresentada pelo Sensor TM/Landsat-5 destaca pequenas variações locais de temperatura a nível de pixel para toda a cidade. O fenômeno é bem representado na regional Pampulha (Figura 3).

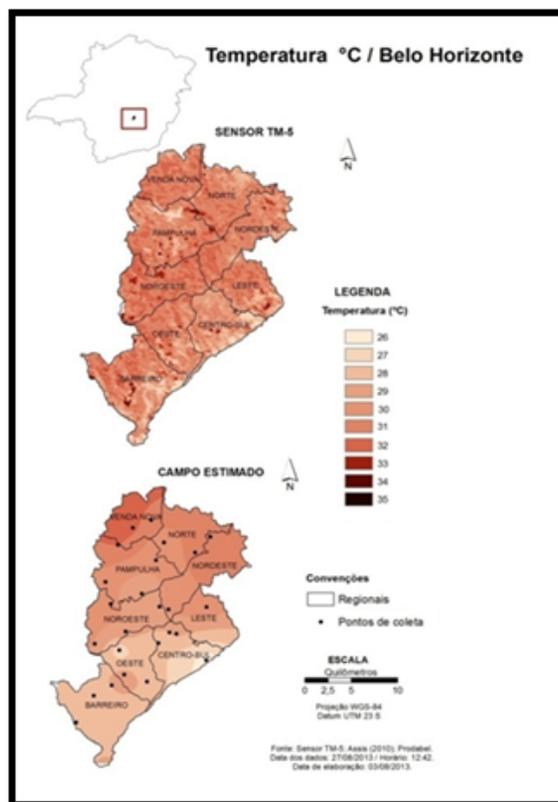


Figura 3. Comparativo da temperatura em C° em Belo Horizonte entre Sensor/TM e Campo Estimado

Quando ocorre a uniformidade da temperatura em áreas menores, a imagem termal e os dados de campo identificam e representam espacialmente o fenômeno com valores semelhantes. Isso ocorre principalmente na porção sudeste e norte da cidade. A média e o desvio padrão dos resíduos apresentaram uma pequena melhora quando efetuado o controle de outliers, Tabela 2.

Os valores demonstram que o erro médio relativo do sensor varia entre 34 % e 27 %, o que a princípio pode sugerir erros significativos. Entretanto essa divergência representa apenas 1,74 ou 1,37 °C na média dos resíduos. Portanto, se destaca a capacidade da estimativa proveniente da imagem termal em se aproximar da temperatura registrada em campo.

Tabela 2. Análise estatística sem e com controle de outliers

	Sem controle de outliers	Com controle de outliers
Média dos resíduos	1,7°C	1,3°C
Desvio padrão dos resíduos	1,7°C	1,2°C
Erro médio relativo	34%	27%

O comparativo feito com os pixels da imagem termal e os pontos de coletas em campo é apresentado na Figura 4. Entre Campo / 12:00 e Campo Estimado / 12:42, observa-se um pequeno aumento da temperatura para todos os pontos. Esse acréscimo já era esperado uma vez que ,sem interferências atmosféricas, a temperatura registrada tende a aumentar no período de excesso energético.

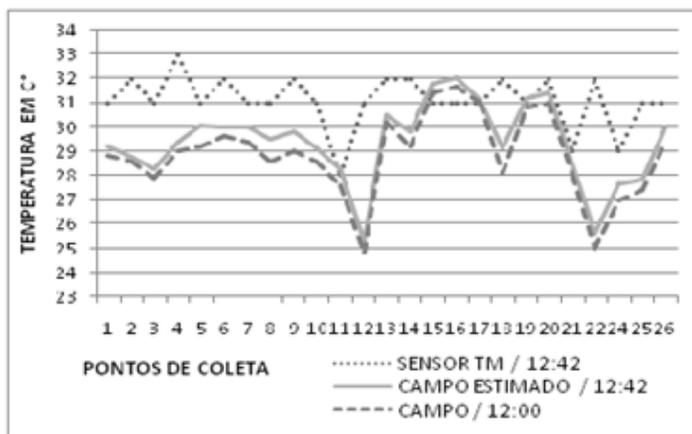


Figura 4. Comparativo da temperatura em C° entre os métodos de coleta

A análise do comportamento dos resultados provenientes do Sensor TM/Landsat / 12:42 e Campo Estimado / 12: 42 (Figura. 3), destaca a oscilação entre valores semelhantes, como é o caso dos pontos 11 e 17 e valores distantes como os pontos 12 e 22. Estes, considerados como outliers, com superestimação do Sensor TM/Landsat de até 6,41 C° em relação ao Campo Estimado / 12:42.

Outliers

A primeira área, na qual foi identificada alta superestimação, está localizada no bairro Nova Gameleira, Regional Oeste (Figura 5).

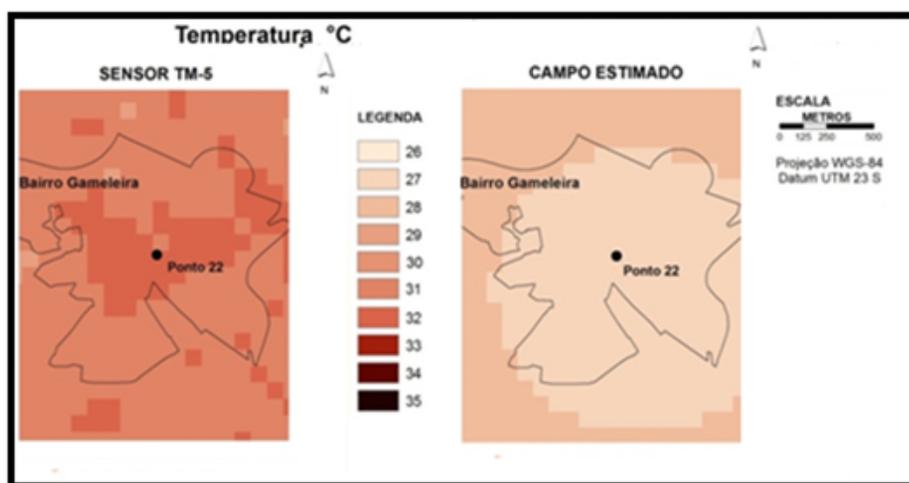


Figura 5. Comparativo em C° para o bairro Nova Gameleira Sensor TM/Landsat-5 e CampoEstimado

Observando a Figura 5 é possível verificar a diferença de temperatura fornecida pelos dois métodos e o raio de espacialização de cada temperatura. Segundo Assis (2010), o entorno do ponto de coleta no bairro Nova Gameleira é caracterizado pelo uso do solo residencial com baixa densidade populacional, arborização deficitária com topografia local pouco acidentada. Também é possível identificar significativa presença de telhados de amianto e lotes vagos na área de entorno do ponto. O ponto do bairro corresponde ao ponto 22 em que se verifica uma superestimação de 6,41 C° por parte do Sensor TM/Landsat em relação à estimativa de campo (Figura 3). Segundo Steinke et al. (2010), a área urbana apresenta valor médio de emissividade em torno de 0.92, mas devido à baixa cobertura de asfalto, elemento que contribui para o aumento do valor médio, o valor tende a ser menor que 0.92 para o local em questão. Neste sentido, a superestimação pode ser explicada pelo fato de que para toda a imagem foi considerado o valor de emissividade igual a 1, o que gera uma superestimação da temperatura das áreas que apresentam emissividade média abaixo de 1.

A segunda área, na qual é apresentada alta superestimação, está localizada no Parque das Mangabeiras, regional Centro-Sul. Segundo Assis (2010), o parque abriga a maior área verde contínua de Belo Horizonte com relevo movimentado e responsável pelos menores registros de temperaturas mínimas coletadas em campo em seus estudos (Figura 6).

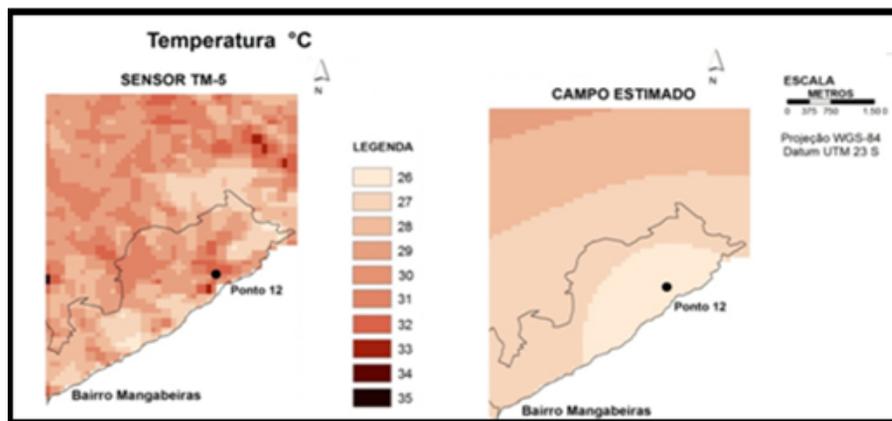


Figura 6. Comparativo da temperatura em C° para o bairro Mangabeiras. Sensor TM/Landsat-5 e Campo Estimado

A configuração gerou uma superestimação de 5,68 C° por parte do Sensor TM/Landsat em relação à estimativa de campo, ponto 12, Figura.3.

Segundo Bartoliucci e Chang, (1988), a vegetação saudável apresenta emissividade entre 0.96 e 0.99, entretanto a área onde foi realizada a coleta em campo pode ser considerada como a borda do parque e apresenta uma vegetação rarefeita considerando a resolução espacial de 120m da imagem TM/Landsat. Neste sentido, devido à configuração da área, e a data da aquisição da imagem que compreende o período seco da cidade, a emissividade pode ser representada pela vegetação seca, entre 0.88 e 0.94, logo distante da emissividade 1, usada para toda a imagem. Portanto, a falta de correção da emissividade gerou resíduos que foram potencializados em duas áreas onde a configuração e a natureza dos elementos representam valores de emissividade menores e distantes de 1.

De acordo a técnica proposta por Artis e Carnahan (1982), com base na lei inversa de Planck, para correção da emissividade é necessário multiplicar a imagem termal, já convertida em temperatura pela emissividade dos elementos com os seus respectivos valores. A multiplicação

objetiva adequar a imagem termal na realidade individual da emissividade de cada grupo de elementos, evitando assim a superestimação dos dados. Procedimento não realizado no presente trabalho, o que destaca a necessidade de realizá-lo para uma representação mais apurada da temperatura com dados de Sensoriamento Remoto.

Conclusões

Imagens da banda termal do Landsat apresentaram boa capacidade de representar a distribuição da temperatura, quando comparada com dados obtidos em campo. Quando se verificou de registros distintos, temperatura do ar e temperatura aparente da superfície, o Sensor TM/Landsat-5 apresentou erro médio relativo de 27%, com média dos resíduos de 1,37 C° com controle de outliers. As maiores diferenças registradas apresentam significativa relação com a falta de correção dos índices de emissividade.

Os dados obtidos de maneira remota apresentaram bom potencial de representar a distribuição contínua da temperatura que, aliado ao acesso gratuito de imagens, podem reduzir custos logísticos quando comparados a coletas em campo. Entretanto, são limitados pela resolução espacial, temporal, métodos de extração, correção da emissividade e atmosférica. Por sua vez, a temperatura do ar registrada em campo possui precisão pontual com algumas limitações para estimativas em áreas distantes dos pontos de coleta. Ressalta-se também a importância da aplicação de técnicas estatísticas, como a regressão aqui utilizada, na aproximação entre os valores obtidos pelo sensor e os verificados em campo.

Os dados estatísticos são uma mensuração linear da variável temperatura e que, em sua natureza, nem sempre seguem uma tendência. Dessa forma, o estudo trabalhou com a premissa da tendência linear para aproximação com os dados do Sensor. Tal fato pode apresentar uma discrepância com o dado real. Estudos adicionais, contemplando correção da emissividade, tornam-se necessários para analisar a real contribuição dessa correção para a aproximação de dados coletados em campo.

A aplicação do wavelength (comprimento de onda) no software, substituindo a banda de emissividade recomendado, é totalmente usual quando se trata de imagens de baixa resolução espacial na qual o ambiente urbano torna-se homogêneo. Dessa forma, não anula o valor dessa pesquisa.

O uso de imagens termais captadas através de sensores remotos, podem auxiliar estudos do clima urbano. Para isso, é necessário aplicar técnicas de correção e validação com dados da temperatura coletados em campo. Existem outras plataformas que captam imagens termais, dessa forma, pesquisas voltadas para a análise de resultados tornam-se necessárias para o aprimoramento técnico e identificação das limitações do modelo. Dessa forma, dados termais obtidos pelo Sensoriamento Remoto podem subsidiar mapeamentos de abrangência local ou global.

Referências Bibliográficas

- ANDRIOTTI, J.L.S. Fundamentos de estatística e geoestatística. São Leopoldo: Ed. Unisinos 2003.
- ARTIS, D.A.; CARNAHAN, W.H. Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. Remote Sensing of Environment. n. 12 (4). P. 313–329, 1982.
- ASSIS, W. L. O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial. 2010. 299 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.
- AYOADE, John O. Introdução a climatologia para os trópicos. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- BARBOSA, R.V.R.; VECCHIA, F.A.S. Estudo de ilhas de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: Estudo de caso em São Carlos SP. Revista Pesquisa e Tecnologia Minerva. v.6 n.3, p. 273-278, 2008.
- BARIOU, R.; LECAMUS, D.; LE HENAFF, F. Létalonnage des données. Rennes: Centre Regional de teledetection. UHB. Rennes, 2, 1993.
- BARTOLIUCCI L.A. and CHANG M. Look-up Tables to Convert Landsat TM Thermal IR Data to Water Surface Temperatures. Geocarto International v.3, p.61-67, 1988.
- CHANDER G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v, 41, n. 11, 2003.
- GOWARD, S. N. Thermal behavior or urban landscapes and the urban heat island. Physical Geography, v.1.p.19–33,1981.
- LOMBARDO, M. A. Análise do Fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas, por meio da combinação de dados Landstat e Ikonos. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, 2003. Anais. p. 1741 – 1748, 2003.
- _____. Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MONTEIRO, Carlos A. F. Clima e Excepcionalismo - conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.
- NASCIMENTO, D. T. F. Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010). 2011. 98 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011.
- NOVO, E, M, de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher. 1989.
- SIGMUND, Fritz. The Diurnal Variation of Ground Temperature as Measured from TIROS II. Journal of Applied Meteorology and Climatology. v.2 n.5, p. 645-648, 1963.
- SOBRINO, J. A.; COLL, C.; CASELLES, V. La medida de la temperatura desde satélites. In: La teledetección en el seguimiento frf lod fenómenos naturales. Climatología y desertificación. Valência: Facultat de Física, Universitat de Valência. p. 153 – 181, 1993.
- SOUZA, J. D.; SILVA, B. B. Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – Landsat 5. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, n. 4, p. 349 – 358, 2005.
- STEINKE, V. A.; STEINKE, E. T.; SAITO, C. H. Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF. Revista Brasileira de Climatologia. n. 6. p. 37-56, 2010.