

Estudo do comportamento sazonal das características superficiais da Ilha Ross, Antártida, por meio de informação térmica superficial do sensor ASTER

Luiz Fernando Whitaker Kitajima¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista^{1 2}.

¹Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Campus I
Q.S. 07 Lote 01 EPCT, CEP 71996-700, Águas Claras, Taguatinga, DF.
kitajima@ucb.br

²Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Planejamento e Gestão Ambiental, Campus II
SGAN 916 Norte, Módulo B - Sala A-219, CEP 70790-160 Brasília, DF.
gmbaptista@pos.ucb.br

Abstract. ASTER images from Antarctica taken between 2000 and 2003 in the thermal infrared imaging sensor showed interesting relationship between the land surface temperatures and the surface features. The studied area is the Ross Island, the Ross Ice Shelf at the south and the Antarctic Ocean at the north. The Ross Ice Shelf and icebergs showed to have the lowest surface temperatures, while the sea ice has higher surface temperatures. The open sea has the highest temperatures. The temperature differences are well defined and sharpen, but they are less different on the early and mid summer and higher on spring and late summer. On land, there is a more irregular temperature pattern. This is due to the relief effects as well the presence of volcanic activity on Mount Erebus, with warm areas possibly heated by the volcanic activity. The surface temperature differences allow study the distribution of ice and sea on the region as well the behavior of the volcanic activity on Mt. Erebus.

Palavras-chave: Remote sensing, ASTER, Thermal Images, Ross Island, Sensoriamento remoto, ASTER, Imagem termal, Ilha Ross

1. Introdução

A discussão sobre as conseqüências do chamado aquecimento global, ou a intensificação do aquecimento do planeta devido ao efeito estufa, causado pelo aumento das emissões de gases como CO₂, CH₄ e CFCs (principalmente como subprodutos da atividade humana), levaram a um crescente interesse por meios de medição e sondagem de todas as possíveis mudanças em vários ambientes terrestres.

Uma possível conseqüência do aumento das temperaturas médias globais é o derretimento acelerado das calotas de gelo polar, o que pode causar a inundação de cidades litorâneas (Oppenheimer 1998). Portanto, é interessante um estudo da cobertura de gelo polar como uma maneira de determinar qualquer grande variação no volume, espessura, etc. que poderia indicar a iminência de um maior processo de derretimento da calota polar.

Entre as ferramentas disponíveis para tal estudo estão os sensores a bordo de satélites em órbita ao redor da Terra, que trabalham em diversas bandas, intervalos espectrais, radiométricos, etc. que podem ser empregados proveitosamente nesse tipo de pesquisa. O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, ou Radiômetro de Reflexão de Emissão Termal Avançado Orbital) é um sensor que trabalha com a parte da luz visível e infravermelha (próximo, de ondas curtas e termal) do espectro e é capaz de fazer imagens estereoscópicas. Essas capacidades têm sido exploradas para análise de mudanças em geleiras e de temperaturas superficiais (Kargel et al., no prelo).

As imagens do gelo Antártico, região da Ilha Ross, foram selecionadas para um estudo cujo objetivo é relacionar a temperatura da superfície com a espessura do gelo. Está claro que não é possível determinar a espessura específica do gelo apenas pelas imagens, mas é possível relacionar com os tipos gerais de cobertura de gelo existentes na Antártida.

Com a disponibilidade dessa informação preliminar é possível recolher dados para um estudo posterior que empregue as imagens ASTER para determinar a presença de gelo fino ou mais espesso, de forma a indicar a taxa de fusão do gelo e da redução de sua espessura, o que poderia ser usado para monitorar a calota polar na Antártida, ou até mesmo no Ártico. Tal monitoramento pode ser empregado para orientar estudos específicos em áreas nas quais a calota polar sofreu uma redução de espessura mais intensa ajudando, assim, a medir a taxa de fusão do gelo.

Foi também estudado o comportamento termal do vulcão Erebus na Ilha Ross. Esse vulcão é único por ser o vulcão ativo mais meridional e também o mais ativo do Continente Antártico (Rowe et al. 2000). O contraste entre as temperaturas da cratera e do cone foram sujeitos a um estudo preliminar neste artigo. Possíveis diferenças entre a terra, gelo e mar foram também estudados para determinar padrões de temperatura associadas.

2. Metodologia de trabalho

A área estudada corresponde a Ilha Ross (parte da dependência Ross, reivindicada pela Nova Zelândia) e adjacências (Figura 1), que inclui parte da Plataforma de Gelo Ross e da plataforma de gelo MacMurdo ao sul. Isso representa uma área aproximadamente retangular delimitada pelas coordenadas geográficas 166-169°E / 77-78°S. As imagens ASTER cobrem os quadrantes SW, NW e NE da Ilha Ross.

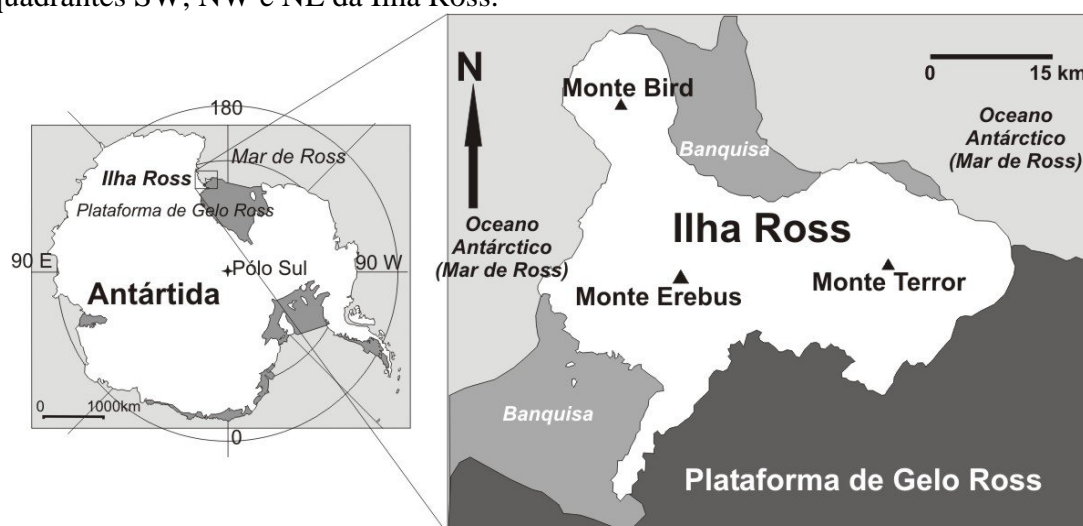


Figura 1. Mapa de localização da área estudada.

A Ilha Ross é quase que totalmente coberta de gelo, mas afloramentos de rocha aí existentes mostram que a ilha é composta principalmente de rochas alcalinas vulcânicas como fonolitos, basanitos e traquitos. O Monte Erebus é um vulcão que apresenta um lago de lava que é ativo desde a década de 1970 (Harris et al., 1999, Rowe et al. 2000), sendo esse lago composto de magma de anortoclásio fonolito com erupções do tipo Stromboliano que lançam considerável quantidade de cinzas e outros gases (especialmente Cl e S).

Para o presente trabalho foram empregados um número de imagens obtidas pelo sensor ASTER entre 2000 e 2003. ASTER é um sensor construído no Japão e colocado em órbita em 12 de Dezembro de 1999 a bordo do satélite EOS (*Earth Observing Satellite*, Satélite de Observação da Terra) AM-1 Terra, uma *joint venture* entre os Estados Unidos e o Japão. Sua órbita está a cerca de 750 km de altitude, síncrona com o sol, inclinação de 98° e período orbital de 98,88 minutos. O satélite cruza diariamente o equador às 10:30 AM GMT e a cada 16 dias o padrão orbital se repete novamente (ou seja, a cada 233 órbitas). Essa informação

foi obtida no site da NASA *Earth Observing System Data Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>).

O sensor ASTER é composto por três subsistemas, cada um trabalhando em uma região específica do espectro: VNIR (visível e infravermelho próximo cobrindo a faixa de 0,5-0,9 μm), infravermelho de ondas curtas (SWIR, 1,6-2,5 μm) e infravermelho termal (TIR, 8-12 μm), totalizando 14 bandas e uma resolução espacial de 15, 30 e 90 metros respectivamente. Em termos radiométricos, tanto o sensor VNIR e SWIR apresentam dados de 8 bits e o TIR, 12 bits.

Para a realização do presente estudo utilizaram-se 11 cenas e todas foram obtidas entre 2000 e 2003, por meio do sensor de infravermelho termal (TIR). Imagens com o sensor VNIR foram também utilizadas no estudo da natureza dos alvos em superfície, mas deu-se ênfase nas imagens do TIR. As datas em que as imagens foram obtidas são 23 de outubro de 2000 (duas imagens); 8 de novembro de 2000; 26 de dezembro de 2000; 27 de janeiro de 2001; 20 de outubro de 2001; 29 de outubro de 2001; 7 de dezembro de 2001; 15 de fevereiro de 2002; 3 de fevereiro de 2003 e 3 de dezembro de 2003. Estas imagens cobrem as áreas a NE, SW e NW da Ilha Ross.

Além das imagens de radiância foram obtidas as cenas *ASTER On-Demand 08 - AST08 - Surface Kinetic Temperature* que é um produto gerado sob demanda. Esse produto apresenta-se com dados de temperatura de superfície expressos em Kelvin e que, convertidos para Celsius, permitem a análise proposta o presente estudo. Temperatura de superfície providencia um *input* vital para os estudos de vulcanismo, inércia termal, energia superficial e mapeamento em alta resolução de incêndios.

Para a geração do produto *ASTER on demand 08* empregou um algoritmo de correção atmosférica e converteram-se as imagens para graus Celsius. Foram obtidos perfis de temperatura de superfície de forma a cobrir diferentes padrões na água, gelo e terra, procurando reconhecer a plataforma de gelo, a banquisa (o gelo marinho em placas delgadas) e o mar aberto. Em terra os perfis foram feitos de forma a cruzar os “pontos quentes” do vulcão Monte Erebus. O *software* ENVI TM versão 4.1 for usado para visualizar as imagens e obter os perfis de temperatura. Os perfis mais significativos com seus respectivos perfis são os apresentados neste trabalho.

As temperaturas superficiais indicadas ao longo dos perfis nas diferentes áreas das imagens foram analisadas para cada mês, tendo em vista as variações sazonais, já que o período outubro a fevereiro compreende o fim da primavera e o início do verão no hemisfério sul.

3. Resultados e Discussão

3.1 Temperaturas e tempo

A variação das temperaturas superficiais com o tempo, com a finalidade de se estabelecer relações das temperaturas da imagem com as estações do ano, está indicada na Tabela 1.

Tabela 1. Relação de temperaturas medidas ao longo do tempo nas imagens ASTER.

<i>Mês</i>	<i>Temperaturas</i>
Outubro (primavera)	-22°C e -42°C (plataforma de gelo e mar/banquisas). -15°C (cratera do Monte Erebus).
Novembro (primavera)	-5°/-2°C (mar aberto), -20°/-15°C (banquisa), -20°C (plataforma de gelo) e -30°/-15°C (Ilha Ross). Até 0°C (cume do Monte Erebus).
Dezembro (primavera-verão)	-2°C a 0°C (mar aberto), -5°/-4°C (iceberg), -11°C

	(plataforma de gelo), -24°C a -3°C (Ilha Ross)
Janeiro (verão)	-1°C (mar aberto), -10°/-5°C (banquisa), -10°C (plataforma de gelo). +3°C e +8°C, (cratera do monte Erebus; uma análise do centro da cratera indicou uma temperatura de +27,8°C)
Fevereiro (verão)	-25°C a quase 0°C (mar aberto e banquisa), -30°C a -13°C (plataforma de gelo). -15°C a -5°C (Ilha Ross), -1°C/+4°C (possivelmente na cratera do Monte Erebus).

3.2 Temperaturas e alvos superficiais

Os padrões superficiais que podem ser identificados, devido à textura, temperatura e pela localização (indicada em mapa), que são a Ilha Ross propriamente dita, a Plataforma de Gelo Ross (uma capa de gelo com 200 metros de espessura; Giovinetto e Zumberge, 1967), a banquisa e o mar aberto.

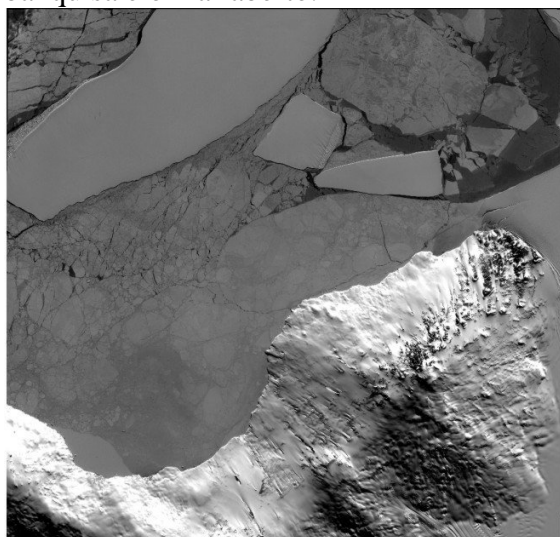


Figura 2a - 23/10/2000 - região NE da Ilha Ross

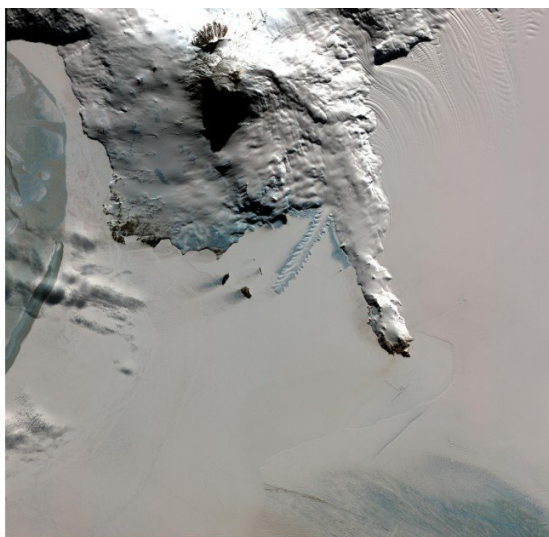


Figura 2b - 23/10/2000 - região SW da Ilha Ross

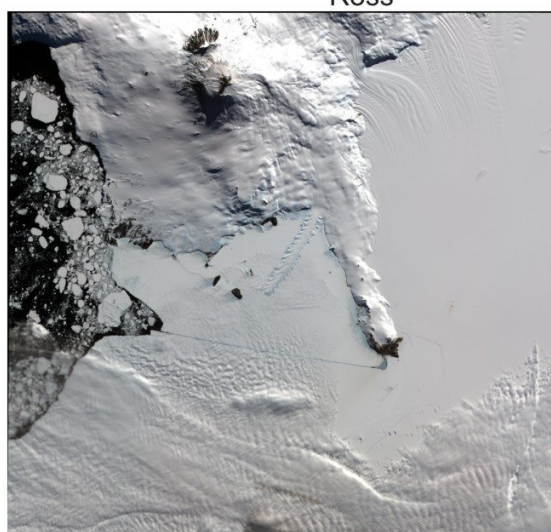


Figura 2c - 27/01/2001 - região SW da Ilha Ross

Figura 2. Imagens em composição colorida (RGB - 231) obtidas pelo sensor VNIR do ASTER. A direção do norte e a identificação de alguns acidentes geográficos estão indicadas na Figura 3.

As imagens mais representativas estão indicadas em composição colorida na Figura 2 e na Figura 3 estão as imagens em infravermelho termal (TIR) e os perfis obtidos. Na composição colorida, com imagem obtida pelo sensor VNIR, a composição RGB é: R = banda 2, G = banda 3, B = banda 1. Nelas, quando mais escuros são os tons de cinza da imagem, mais baixas são as temperaturas do alvo (ver temperaturas na Tabela 1 e na Figura 3 e perfis associados).

A Ilha Ross tem um relevo acidentado que permite a presença de um padrão de variação de temperaturas mais irregular (em contraste com a suavidade do mar e da plataforma de gelo) em que as sombras podem ser observadas como as áreas mais escuras e mais frias na ilha (Figuras 2b e 2c, Perfis 3 e 5). Há pontos e áreas em tons claros (quentes), especialmente no cume do monte Erebus (em padrão radial ao cume), que pela imagem em composição colorida (Figura 2) e que são relacionada com a cratera e o lago de lava, como observado nas Figuras 3b e 3c e perfis das Figuras 3 e 5 (Oppenheimer 1998, Rowe et al 2000).

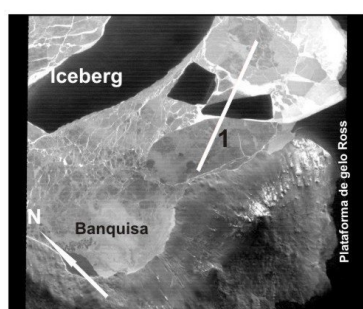


Figura 3a - 23/10/2000

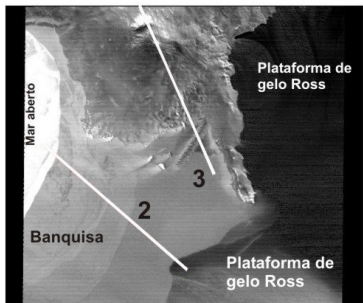
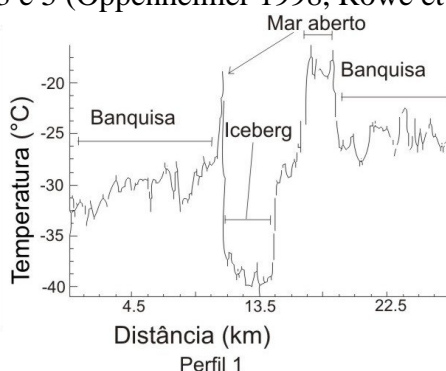


Figura 3b - 23/10/2000

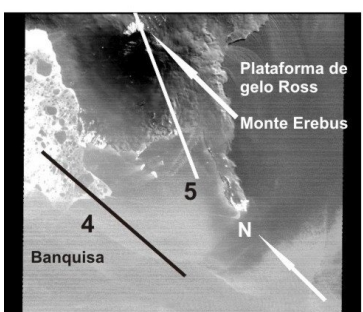
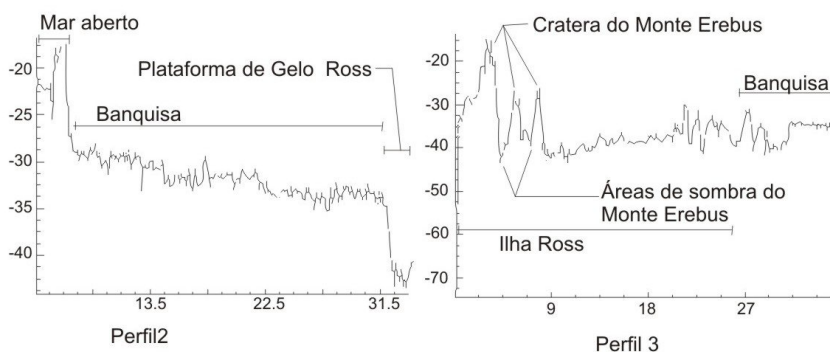


Figura 3c - 27/01/2001

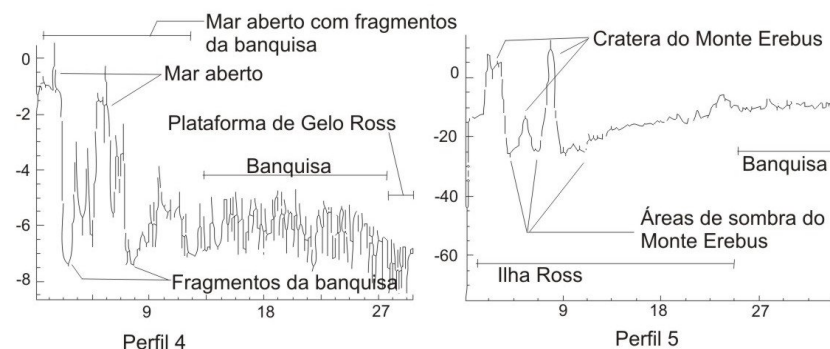


Figura 3. Imagens da Ilha Ross obtidas com o sensor de infravermelho termal (TIR) do ASTER com os perfis de temperatura superpostos.

3.3 Discussão

Antes de se discutir sobre a variação de temperatura versus o tempo, deve ser declarado que são esperadas variações de temperatura de superfície entre os diversos alvos no solo.

Entretanto, para o presente estudo, foram observadas diferenças de temperatura nas mesmas áreas ou alvos no mar. A razão para isso é que os alvos no mar mostram um relevo suave, ou são mesmo planos, e compostos por água, mar congelado (a banquisa) ou icebergs, com pouca ou nenhuma sombra que possa produzir áreas de baixa temperatura.

As diferenças de temperatura entre as áreas mais frias e quentes são maiores nos meses imediatamente antes e depois do começo do verão no hemisfério sul. Nos meses de outubro, novembro e fevereiro as diferenças de temperatura (15° a 20°C) são maiores do que em dezembro e janeiro (entre 5°C e 10°C, exceto em áreas cobertas por sombras que são muito frias).

As temperaturas mais altas no começo do verão também refletiram nas temperaturas superficiais do gelo, aquecido pela estação mais quente, e também o aumento da radiação incidente em uma superfície mais refletora, que traduziu-se em um maior registro do infravermelho termal e que encobriu as pequenas variações termais para esse período. As diferenças maiores de temperatura no fim da primavera podem também ser relacionadas com o fato de a água em estado líquido ter uma capacidade termal maior, segurando considerável energia e mantendo em temperaturas maiores que o gelo (Ayoade, 2004). No verão, especialmente no período de maiores temperaturas (início do verão) material superficial sólido pode facilmente absorver a radiação solar ampliada e mostrar maiores temperaturas. Observando-se as figuras 3a a 3c, observa-se que para os meses de outubro (Figs. 3a e 3b), a Plataforma de Gelo Ross apresenta tons mais escuros que para o mês de janeiro, em que fica quase indistinguível da banquisa (Figura 3c).

Podem-se indicar também as temperaturas atmosféricas maiores, aquecidas tanto pela radiação (aumentada) incidente ou emitida pelo gelo, que pode somar-se às temperaturas da superfície. Isso significa que a análise de temperatura por sensores orbitais deve considerar a estação do ano para evitar leituras de temperaturas anormalmente altas que possam ser interpretadas como um efeito do aquecimento global.

A região coberta pelas imagens pode ser definida como sendo composta por terra firme coberta de neve ou gelo (Ilha Ross), com faixas ocasionais de solo descoberto, a plataforma de gelo (denominada de Plataforma de Gelo Ross), icebergs, mar aberto e a banquisa (uma cobertura de gelo mais fina). Na própria Ilha Ross existem duas montanhas, sendo que uma delas é um vulcão ativo (Monte Erebus), com um lago de lava em sua cratera.

As áreas de mar aberto mostraram as maiores temperaturas (exceto a cratera do Monte Erebus) e durante o verão as temperaturas podem estar acima de 0°C, aparecendo como áreas de cor brilhante nas imagens obtidas pelo TIR (por exemplo, ver a parte da esquerda da Figura 3c). As áreas em tom de cinza médio (mais frias), representam a banquisa (uma camada de gelo com poucos metros de espessura; Zwally et al. 2002, Tin et al. 2003), que podem ocorrer duas formas: próxima a Ilha Ross e da Plataforma de Gelo Ross, sendo contínuas, e na forma de “manchas” de limites mais ou menos bem definidos, junto ao mar aberto. Essas banquisas têm ocasionalmente uma textura “manchada”, irregulares ou em faixas (ver Figura 3b), indicando sutis variações de temperatura.

As formas identificadas como icebergs têm limites bem definidos e são de temperatura mais baixa (Figura 3a e perfil 1) e texturalmente mais “limpos” nas imagens em composição colorida (Figura 2a), que podem ser comparadas com as imagens de satélite (mostrando icebergs) provenientes de outros trabalhos (e.g. McAyeal et al. 2001 em submissão). Esses icebergs também têm um comportamento de temperatura similar à mais espessa plataforma de gelo. Isso sugere que as consideráveis espessuras dos icebergs significam menores temperaturas médias superficiais, de uma maneira similar à da plataforma de gelo, assim indicando uma relação entre espessura do gelo e a temperatura da superfície. As mais altas temperaturas estão no mar aberto, seguidas pelas temperaturas mais baixa da banquisa, e as temperaturas mais baixas são as dos icebergs e da plataforma de gelo. O aspecto “manchado”

da banquisa também pode ser relacionado a diferentes espessuras devido a irregularidades superficiais (possivelmente causadas por neve ou deformação por maré ou movimento de ondas) que possam existir.

É importante ressaltar que os perfis de temperatura indicam em várias ocasiões um contato bem definido entre esses padrões (gelo, banquisa, iceberg e plataforma de gelo) que sugerem também consideráveis diferenças na espessura, se consideradas a relação entre a temperatura e a espessura.

A Plataforma de Gelo Ross tem, como descrito anteriormente, baixa temperatura superficial e também uma textura mais suave, embora apresente também variações na temperatura. Isso pode ser devido a um aquecimento não homogêneo da superfície, indicando que a cobertura de neve ou aquecimento do gelo superficial afeta as temperaturas superficiais.

A Ilha Ross mostrou um padrão de temperatura mais irregular como resultado do efeito de relevo e das sombras. Em geral, a ilha apresenta temperaturas mais baixas nas áreas iluminadas do que nas áreas de mar aberto, mas às vezes é mais quente do que na plataforma de gelo.

As áreas mais claras e mais quentes, que ocorrem como áreas brilhantes nas encostas setentrionais do Monte Erebus, bem como áreas próximas ao cume, correspondem à áreas sem cobertura de neve, ou seja, rocha nua (Figuras 2b e 2c, 3b e 3c). No caso das encostas setentrionais a exposição de rocha pode ser atribuído à iluminação solar que derrete a neve e o gelo. Já a área brilhante próxima ao cume, que apresenta uma disposição radial, é obviamente relacionada à atividade vulcânica, e assemelha-se às temperaturas obtidas por imagens Landsat TM de Harris et al. (1999), acima do ponto de congelamento (uma análise mais próxima indicou uma temperatura de quase 28°C) mas não tão quentes como poderia-se presumir.

Provavelmente isso é devido a um período de menor atividade como também pelo rápido resfriamento de qualquer magma que atinja a superfície. Mesmo assim, as áreas quentes próximas ao cume, quando analisadas com imagem de composição colorida, indicou que as mesmas não eram cobertas por neve, indicando possivelmente que o magma poderia estar próximo à superfície e aquecendo as rochas sobrejacentes. Emissão de lava ou fumaça foi detectado em uma imagem de Dezembro de 2001 (não apresentada neste trabalho). Harris et al. (1999) também indicou um padrão de orientação radial (das fumarolas) em relação à cratera, que lembra o padrão das áreas quentes observadas nas Figuras 3b e 3c.

4. Conclusões

As imagens obtidas pelo sensor ASTER mostram que os padrões de temperatura superficial estão relacionados a diferentes espessuras do gelo nos diferentes alvos. Icebergs e a plataforma de gelo são os alvos com maior espessura de gelo (várias dezenas de metros) e mostraram as mais baixas temperaturas. A banquisa (poucos metros a menos de um metro de espessura) tem padrões de temperatura intermediários enquanto que o mar aberto tem as mais altas temperaturas superficiais. As diferenças são bem definidas e podem ser observadas em perfis de temperatura.

Diferenças na escala de cinza da superfície indicam diferenças na espessura, maior ou menor grau de suavidade ou diferenças nos materiais constituintes da superfície (gelo, neve ou água). As diferenças gerais de temperatura aparentam ser menores no auge do verão (dezembro a janeiro) enquanto são maiores no fim da primavera ou verão (outubro / novembro e fevereiro). Essa variação não afeta as diferenças térmicas gerais dos alvos. Cobertura de nuvens afeta o registro térmico, reduzindo o contraste de temperatura.

Alvos em terra firme, na Ilha Ross, têm um comportamento térmico superficial menos regular do que nos alvos em mar, sendo essa variação atribuída a padrões de relevo.

Entretanto, o monte Erebus, com sua cratera e vulcanismo ainda ativo, mostra-se como um alvo aquecido em temperaturas acima do ponto de congelamento, chegando a 28°C.

Considerando a importância do estudo da espessura da plataforma de gelo no monitoramento dos possíveis efeitos do aquecimento global, a vigilância da cobertura de gelo da Antártida, como também de outras regiões polares, empregando as temperaturas superficiais é uma possibilidade que merece estudos mais detalhados no futuro. Além disso, o controle e estudo do desenvolvimento da banquisa, especialmente na sua espessura e área coberta, são de interesse para a análise do ambiente biológico e físico (Jeffries e Adolphs 1997), devido ao fato de que mudanças nesses ambientes podem ter importantes conseqüências no crescimento do fitoplâncton, como também na interação oceano e atmosfera.

O estudo do comportamento vulcânico do monte Erebus é também outra boa possibilidade quando se empregam as imagens ASTER no infravermelho termal, definindo áreas que podem ser relacionadas à fumarolas ou saídas, e mesmo as mudanças podem ser monitoradas como meio de se prever possíveis atividades como vulcões.

Referências Bibliográficas

- Ayoade, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 10ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332 p.
- Giovinetto, M. e J.H. Zumberge, The ice regime of the eastern part of the Ross Ice Shelf drainage system. **International Association of Scientific Hydrology (IASH)**, No. 79, General Assembly of Bern, 1967.
- Harris, A. J. L.; Wright, R. e Flynn, L. P.. Remote monitoring of Mount Erebus Volcano, Antarctica, using Polar Orbiters: Progress and Prospects. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 20, n. 15-16, pp 3051-3071, 1999
- Jeffries, M. O. e Adolphs, U.. Early winter ice and snow thickness distribution, ice structure and development of the western Ross Sea pack ice between the ice edge and the Ross Ice Shelf. **Antarctic Science** 9(2): 188-200. 1997
- Kargel, J. S.; Abrams, M. J.; Bishop, M. P.; Bush, A.; Hamilton, G.; Jiskoot, H.; Kääb, A.; Kieffer, H. H.; Lee, E. M.; Paul, F.; Rau, F.; Raup, B.; Shroder, J. F.; Soltesz, D.; Stainforth, D.; Stearns, L.; e Wessels, R.. (no prelo) **Multispectral imaging contributions to global land ice measurements from space**. Remote Sensing of the Environment / special issue on Terra/ASTER science. 87 p.
- MacAyeal, D. R.; Padman, L.; Drinkwater, M. R.; Fahnestock, M.; Gotis, T. T.; Gray, A. L.; Kerman, B.; Lazzara, M.; Rignot, R.; Scambos, T. e Stearns, C.. Effects of rigid-body collisions and tide-forced drift on large tabular icebergs of the Antarctic. Manuscript for submission to the Journal of Geophysical Research. 2001
- Oppenheimer, Michael.. Global warming and the stability of the West Antarctic Ice Sheet. **Nature**, 393, 28 March 1998. 325-332. 1998
- Rowe, C. A.; Aster, R. C.; Kyle, P. R.; Dibble, R. R. e Schlue, J. W.. Seismic and acoustic observations at Mount Erebus Volcano, Ross Island, Antarctica, 1994-1998. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 101: 105-128. 2000
- Tin, T.; Jeffries, M. O.; Lensu, M. e Tuhkiri, J.. Estimating the thickness of ridged sea ice from ship observations in Ross Sea. **Antarctic Science** 15 (1): 47-54. 2003
- Zwally, H. J.; Schutz, B.; Abdalati, W.; Abshire, J.; Bentley, C.; Brenner, A.; Bufton, J.; Dezio, J.; Hancock, D.; Harding, D.; Herring, T.; Minster, B.; Quinn, K.; Palm, S.; Spinhrne, J. e Thomas, R... ICESat's laser measurement of polar ice, atmosphere, ocean and land. **Journal of Geodynamics**, 34: 405-445. 2002