

Análise da ocorrência de geadas no Estado do Paraná com base na temperatura de superfície obtida dos dados AVHRR/NOAA.

Paulo Henrique Caramori ^{1,2}
Júlio César D. M. Esquerdo ²
Jurandir Zullo Júnior ²
Hilton Silveira Pinto ²
Eduardo Delgado Assad ³

¹ Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR
Caixa Postal 81 – 86001-960 - Londrina - PR, Brasil
caramori@iapar.br

² Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CEPAGRI/UNICAMP - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Campinas/SP 13083-970
{julio, jurandir, hilton}@cpa.unicamp.br

³ Embrapa Informática Agropecuária, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Campinas/SP
13083-970
assad@cnptia.embrapa.br

Abstract. This paper describes a procedure to retrieve surface temperature from images NOAA AVHRR over the state of Paraná, Brazil, as part of a project directed to analyze regional patterns of frost occurrence, aiming at improving the current level of available information to support agroclimatological studies. Level 1B images from NOAA 15 and 17 were processed and values of surface temperature for each pixel were retrieved using the Split-Window technique. A program routine was written to extract pixel values corresponding to each one of the 38 weather stations available in Paraná. One case study is presented for the frost occurred on September 5, 2006. Linear correlations were found between satellite-based surface temperature and minimum screen or grass temperature. The average surface temperature over the state at 5:16 AM local time was 2.4°C lower than the screen temperature. This confirms previous studies showing that screen temperatures below 3°C correspond to frost at ground level. The rate of temperature drop between 10 p.m. and 5:00 a.m. local time ranged from 0,96 to 1,44°C/hour. Comparison between surface temperature maps and interpolated values from weather stations presented the same patterns, with much more details in the satellite images. The methodology presented has a potential to improve frost mapping and monitoring in agricultural areas.

Palavras-chave: temperatura de superfície, split-window, temperatura mínima, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

1. Introdução

A ocorrência de geadas no Paraná tem sido um dos principais fatores causadores de perdas de safras de culturas anuais e perenes. Uma das culturas mais atingidas por esse fenômeno é a do café, localizado na região Norte do estado, em região de transição sujeita à ocorrência periódica de geadas (Caramori et al., 2001). O trigo também é suscetível às geadas nas fases de espigamento e enchimento dos grãos, quando mesmo geadas moderadas podem causar prejuízos severos. Neste caso a estratégia adotada é fugir das épocas de maior risco através do planejamento da época de semeadura (Gonçalves et al., 1998), mas a ocorrência de geadas precoces ou tardias ocasionalmente afeta a cultura, causando grandes prejuízos. Os estudos de risco de ocorrência de geadas, baseados em séries históricas de temperaturas mínimas do ar obtidas em estações meteorológicas, representam dados pontuais que necessitam serem interpolados para se obter a representação espacial da região de interesse. Por meio de imagens de satélite, pode-se obter o valor de pixel e desta forma contar com maior nível de detalhe, possibilitando identificar variações regionais que não são identificadas com dados das

estações. Neste trabalho são apresentados resultados que fazem parte de um projeto que visa determinar as variações regionais dos riscos de geada, com base na temperatura de superfície obtida do sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA.

2. Material e Métodos

As imagens AVHRR/NOAA foram obtidas do banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP), no formato L1B (*Level 1B*), gerado por uma estação de recebimento TeraScan. Foram processadas quatro imagens, cujas datas e horários são mostrados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Datas e horários das imagens utilizadas.

Número	Data	Horário de aquisição (GMT)*	Plataforma
1	03/09/2006	13:29	NOAA-17
2	04/09/2006	20:57	NOAA-15
3	05/09/2006	01:31	NOAA-17
4	05/09/2006	08:16	NOAA-15

* Descontar 3 horas para horário local.

A imagem número 4 é a que mais se aproxima do horário de ocorrência da geada. As imagens 3 e 2 foram obtidas aproximadamente 7 e 12 horas antes do evento. Já a imagem número 1 é diurna e foi utilizada para o cálculo do NDVI, variável necessária para a determinação da temperatura de superfície, como será visto adiante.

O processamento das imagens foi realizado por meio do sistema proposto por Esquerdo et al. (2006), que executa as operações de calibração radiométrica, georreferenciamento e geração de produtos de forma automática. Este sistema adota a técnica da navegação indireta (Rosborough et al., 1994) em conjunto à técnica da máxima correlação cruzada (Emery et al., 2003) para corrigir geometricamente as imagens, de forma automática, e com erros de no máximo um pixel (ou 1,1 km). Tal precisão geométrica é fundamental em estudos que envolvam a coleta de informações em nível terrestre. O sistema gera como saída as imagens corrigidas e recortadas para o estado do Paraná, alvo deste estudo. São também geradas pelo sistema imagens do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e do mascaramento de nuvens, útil para evitar a interferência das nuvens na análise dos dados de temperatura de superfície. A **Tabela 2** mostra as características espectrais do sensor AVHRR versão 3, presente na plataforma NOAA-15.

Tabela 2. Características do sensor AVHRR/3.

Canal	Faixa Espectral (μm)	Região do Espectro	Grandezas físicas após calibração radiométrica
1	0,58 a 0,68	Visível (vermelho)	Reflectância aparente (%)
2	0,725 a 1,0	Infravermelho próximo	Reflectância aparente (%)
3A	1,58 a 1,64	Infravermelho médio	Reflectância aparente (%)
3B	3,55 a 3,93	Infravermelho termal	Temperatura de brilho (K)
4	10,3 a 11,3	Infravermelho termal	Temperatura de brilho (K)
5	11,5 a 12,5	Infravermelho termal	Temperatura de brilho (K)

Fonte: Adaptado de Goodrum et al. (2001).

Uma rotina IDL (*Interactive Data Language*) foi escrita para gerar as imagens de temperatura de superfície, calculada pelo método *Split-Window*, baseado no modelo de Sobrino et al. (1997) e modificado por Quaidrari et al. (2002), conforme a Equação (1).

$$T_s = A + B.T_4 + C(T_4 - T_5) + D(T_4 - T_5)^2 + (E.TV + F)(1-\epsilon) \quad (1)$$

Onde,

T_s = temperatura de superfície

$A = 12,3626$; $B = 0,9549$; $C = 1,8474$; $D = 0,2038$; $E = 2,0049$; $F = 52,3183$

TV = conteúdo total de vapor de uma coluna de ar acima de cada pixel: 0 a 7 g.cm⁻²

ϵ = emissividade

A emissividade (ϵ) foi calculada pelas Equações (2) a (4), segundo Cihlar et al. (1994).

$$\Delta\epsilon = 0,01019 + 0,0134.\ln(\text{NDVI}) \quad (2)$$

$$\epsilon_4 = 0,9897 + 0,039.\ln(\text{NDVI}) \quad (3)$$

$$\epsilon_5 = \epsilon_4 - \Delta\epsilon \quad (4)$$

$$\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5)/2$$

O NDVI, gerado a partir de uma imagem diurna, foi calculado por meio da equação (5):

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{VER}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{VER}}) \quad (5)$$

Na qual,

ρ_{IVP} = reflectância no infravermelho próximo

ρ_{VER} = reflectância no vermelho visível

Uma outra rotina IDL fez a leitura de uma planilha contendo os dados de temperaturas mínimas, máximas e médias medidas a cada hora do dia em um conjunto de estações meteorológicas, identificadas por suas coordenadas geográficas lat/long. Em cada estação, a rotina coletou o valor da temperatura mínima nos horários próximos aos das passagens NOAA, mostrados na **Tabela 1** e, em seguida, extraiu as coordenadas geográficas da estação. Estas foram utilizadas pela rotina para verificar na imagem NOAA a temperatura de superfície no pixel onde se localiza a estação. Por fim, foi gerada uma planilha reunindo os dados de temperatura mínima medidos nas estações e os dados coletados nas imagens NOAA. A **Figura 1** mostra um fluxograma resumindo as etapas de processamento.

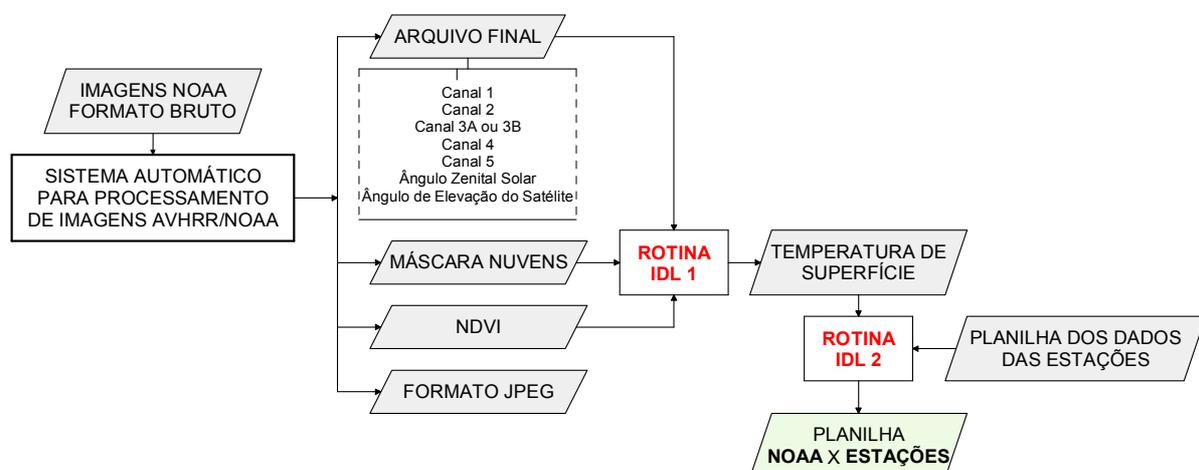


Figura 1. Fluxograma das etapas do processamento.

3. Resultados e Discussão

A **Figura 2** apresenta os valores de temperatura da superfície na tarde da véspera da geada (**A**) e na madrugada de ocorrência (**B**). Fica muito evidente a forte transição do norte para o sul do estado, decorrente da variação da latitude e da altitude. Enquanto no norte, ao longo do vale do rio Paranapanema, com altitudes de 300 a 400m, a temperatura às 18 horas da véspera se situava próximo dos 15°C, as áreas mais elevadas do sul, próximo aos municípios de Palmas e Clevelândia, onde as altitudes variam de 900 a 1300m, já apresentavam temperaturas de superfície inferiores a 4°C. Na madrugada ficou evidente a transição da região cafeeira, localizada ao norte de 24° 30'S, dependendo das condições locais de relevo e face de exposição. Pode-se observar que nas áreas mais quentes, próximo ao vale do rio Paranapanema as temperaturas atingiram valores mínimos de 2 a 5°C, enquanto na latitude correspondente a 24°S atingiu de 0 a 3°C e nas áreas mais elevadas do sul os valores chegaram abaixo de -2°C, com formação de geadas severas e danos às lavouras de trigo em fase de espigamento.

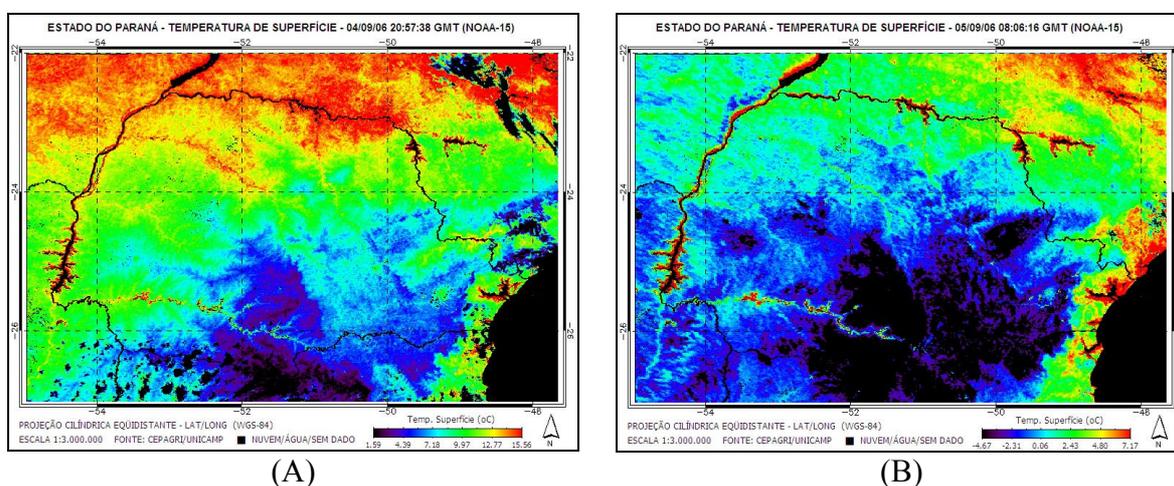


Figura 2. Temperatura da superfície estimada a partir do satélite NOAA-15, na noite da véspera de ocorrência da geada (**A**) e na madrugada (**B**) do dia 05/09/2006 no estado do Paraná. (Para horário local, subtrair três horas).

A **Figura 3A** apresenta a regressão entre a temperatura mínima do ar, medida no interior do abrigo meteorológico instalado a 2 metros de altura, e a temperatura do pixel correspondente à localização de cada estação. Foram eliminadas as estações que apresentavam cobertura por nuvens no momento da passagem do satélite. Considerando-se a diferença de escala de medidas (1,21km² para o pixel, local para o sensor da estação), a correlação observada foi satisfatória, indicando que os valores de temperatura de superfície são confiáveis. De acordo com a linha de regressão, quando a temperatura da superfície atingiu 0°C a temperatura no abrigo era em média em torno de 2,6°C. Estes valores estão de acordo com Grodzki et al. (1996), que observaram um gradiente médio de 3°C no Paraná entre a superfície e o abrigo em noites com perda radiativa intensa. Quando se considera a temperatura mínima de relva, a correlação melhora, provavelmente devido ao fato de que esta variável é medida próxima à superfície do solo e, portanto, representa melhor a condição local do que a temperatura do ar a 2 metros (**Figura 3B**). Nesse caso, compararam-se as temperaturas de superfície das 8:16 GMT com as mínimas de relva que ocorrem normalmente logo antes do nascer do sol, portanto o gradiente obtido não pode ser comparado com os valores de Grodzki, que foram obtidos no mesmo horário.

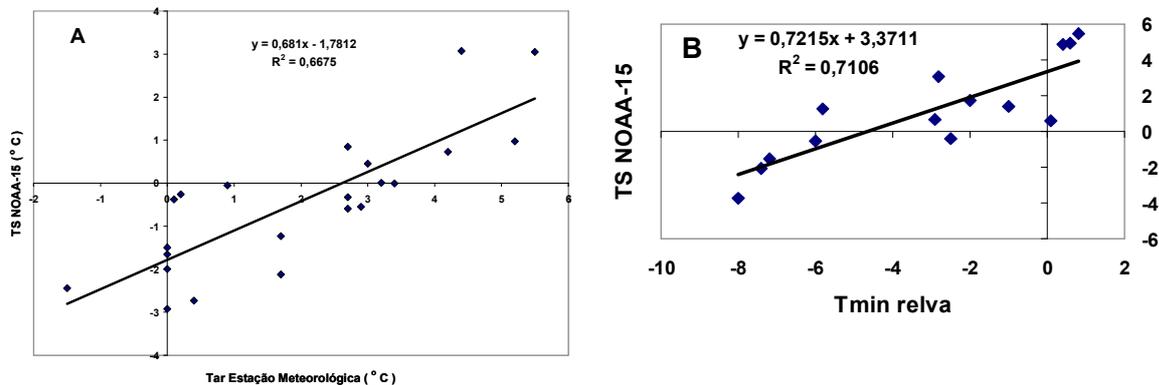


Figura 3. **A** – Relação entre temperatura mínima do ar (Tar Estação Meteorológica) e temperatura do pixel correspondente à estação (TS NOAA-15), às 5:16h, horário local do dia 05/09/2006. **B** – Relação entre temperatura mínima de relva (Tmin relva) e temperatura de superfície (TS NOAA-15) das 5:15h local. Dados do estado do Paraná.

Em noites com ocorrência de geada, a taxa de queda da temperatura é uma informação importante para tomada de decisão quanto à adoção de medidas de combate, como a irrigação ou o aquecimento. De acordo com observações práticas, em noites sem nuvens, em geral após as 22 horas, a temperatura decresce em média 1°C por hora. Assim, sabendo qual o limiar crítico para a cultura a ser protegida, é possível prever se será ou não necessário adotar medidas de proteção. Na **Figura 4** são apresentadas as diferenças de temperaturas entre as imagens obtidas nos horários GMT 01:31 e 08:16.

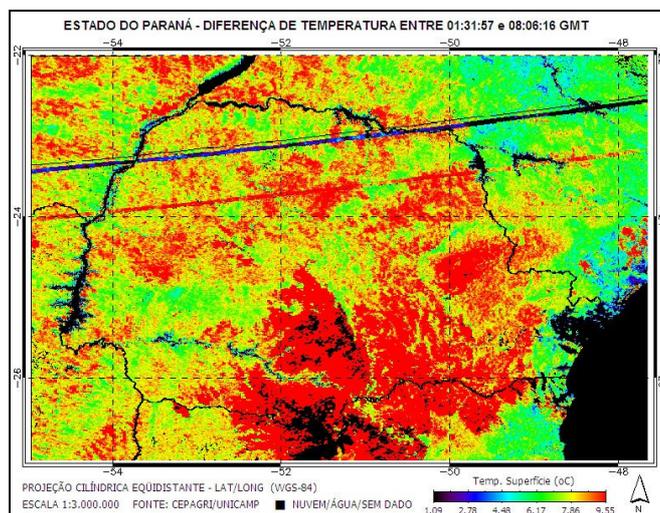


Figura 4. Queda de temperatura entre os horários GMT 01:31 e 8:16, nos dias 4 e 5 de setembro de 2006 no estado do Paraná. (Para horário local, subtrair três horas)

O tempo transcorrido entre a obtenção de cada imagem foi aproximadamente 6 h 45 min. A queda de temperatura nesse intervalo, na maioria dos locais, variou entre 6 e 9°C aproximadamente, representando um gradiente médio de 0,96 a 1,44°C por hora.

Os valores de temperatura mínima de superfície apresentados na **Figura 1** não correspondem à menor temperatura ocorrida, uma vez que o resfriamento continuou até antes do nascer do sol. Na **Figura 5** são apresentados os valores interpolados de temperatura mínima observados nas estações meteorológicas. Pode-se observar que há uma correspondência entre as temperaturas de superfície da **Figura 2** e as temperaturas mínimas das estações da **Figura 5**. Entretanto, há maior resolução nos dados de temperatura de superfície, resultantes de valores a cada 1,21km², enquanto que as estações localizam-se até 50-100 km de distância. Fica assim evidente que as imagens de temperatura de superfície constituem uma excelente ferramenta, tanto para maior detalhamento de estudos de risco existentes, identificando áreas com condições locais e regionais apropriadas ao cultivo de espécies sensíveis, com também para o monitoramento de áreas atingidas por geadas.

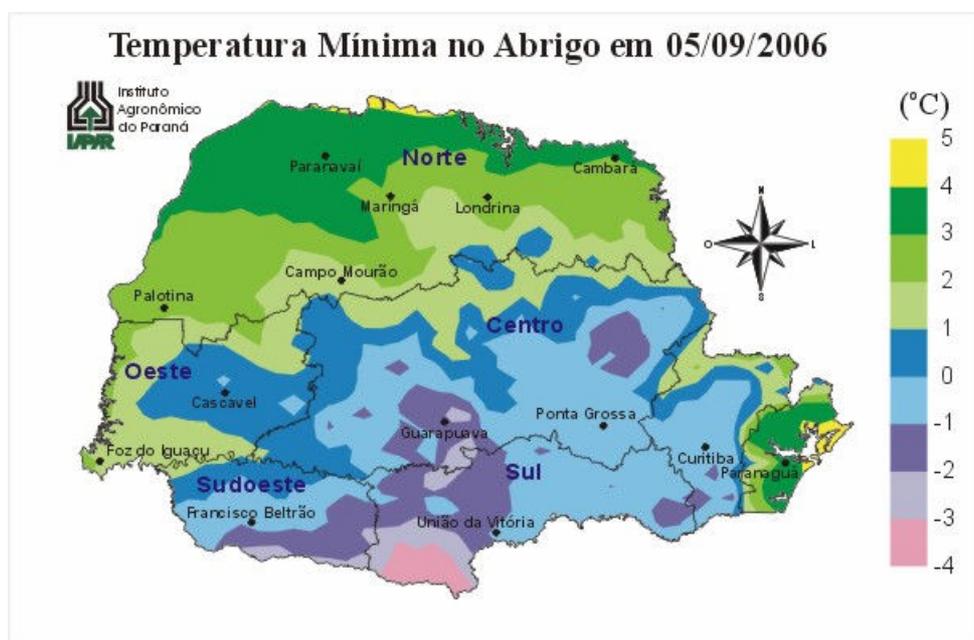


Figura 5. Temperaturas mínimas no Paraná no dia 05/09/2006, registradas no abrigo meteorológico. Valores interpolados utilizando o método de Kriging.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Pós-Doutorado ao primeiro autor deste trabalho. Ao SIMEPAR pela cessão dos dados de superfície do estado do Paraná.

Referências

- Caramori, P.H.; Caviglione, J.H.; Wrege, M.S. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.486-494, 2001.
- Cihlar, J.; Ly, H.; Li, Z.; Jing Chen, Pokrant, H.; Huang, F. Multitemporal, multichannel AVHRR data sets for land biosphere studies -Artifacts and corrections. **Remote Sensing of Environment**, v. 60, n. 1, p. 35-57, 1997.
- Emery, W.J.; Baldwin, D.; Matthews, D. Maximum cross correlation automatic satellite image navigation and attitude corrections for open-ocean image navigation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.1, 33-42, 2003.
- Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Baldwin, D. G.; Emery, W. J.; Zullo Jr, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.18, p.3925-3942, 2006.

Gonçalves, S.L.; Caramori, P.H.; Wrege, M.S. et al. Regionalização para épocas de semeadura de trigo no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.239-248, 1998.

Goodrum, G.; Kidwell, K.; Winston, W. (Eds.) **NOAA KLM user's guide**. Washington, D.C.: NOAA/NESDIS/NCDC/CSD/SSB, 2001.

Grodzki, L.; Caramori, P.H.; Oliveira, D. et al. Riscos de ocorrência de geadas no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p. 93-99, 1996.

Rosborough, G. W.; Baldwin, D. G.; Emery, W. J. Precise AVHRR image navigation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.32, n.3, p.644-657, 1994.

Sobrino, J. A.; Raissouni, N.; Lobo, A. Monitoring the Iberian Peninsula land cover using NOAA-AVHRR data. In Guyot & Phulpin (Eds.), **Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing**, p. 787-794, Rotterdam: Balkema, 1997.