

## Risco de Fogo para a vegetação de Cuba: comparação entre duas versões para 2010 utilizando dados do Satélite TRMM e SYNOP

Raffi Agop Sismanoglu<sup>1</sup>

Alberto Setzer<sup>1</sup>

Ana Lia Lopes<sup>1</sup>

Eva Mejías Sedeño<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DSA – CPTEC  
12630-000 – Cachoeira Paulista – São Paulo  
{raffi.agop, alberto.setzer, ana.lopes}@cptec.inpe.br

<sup>2</sup> Instituto de Meteorología de la República de Cuba – INSMET  
10200 – La Habana, Cuba  
eva.mejias@insmet.cu

**Abstract.** The performance of two different versions of CPTEC's vegetation Fire Risk (FR) product for the Island of Cuba in the Caribbean was analyzed, comparing interpolated precipitation values from the SYNOP network with TRMM/NASA satellite radar estimates. The FR is calculated mainly from the precipitation history over the previous 120 days regarding the date of interest; relative humidity and air temperature, and fires detected, are also used in the empirical FR equations. The limited density of surface weather stations in Cuba and its neighborhood, as well as the lack of regular SYNOP data, fostered the alternative use of TRMM. The performance of the two FR methods was obtained from the occurrence of vegetation fires in FR intensity classes; the vegetation fires used were those detected in GOES-12, Terra and Acqua satellite images, analyzed in grid cells of 5km x 5km. The inclusion of TRMM estimates provided better results than in the former FR version, with a skill of 95% or better, against 85% or lower for interpolated weather station data. Following the improved results, the new TRMM method for the Cuba fire risk products was operationally adopted at CPTEC. Other analyses applying T213-GCM numeric forecasts for future Fire Risk will also be implemented.

**Palavras-chave:** wildfire prediction, GCM analyse, rainfall estimates, forest fire, weather data, previsão de incêndios, análise modelos, estimativa de precipitação, incêndio florestal, dados de estação

### 1. Introdução

De acordo com Becerra (2006), a origem das queimas em Cuba não difere muito a dos outros países Tropicais, ou seja, também é antrópica, apesar do rígido controle do “*Cuerpo de Guardabosques*” (CGB, 2004) que exige autorização prévia para a prática. O uso do fogo depende das condições ambientais e segue fundamentalmente vários aspectos tradicionais em áreas rurais, como: meio de preparo das Terras agrícolas; induzir a germinação de sementes, e eliminar doenças, pragas e animais perigosos nas áreas de cultivo. Sabendo-se que o estado do ambiente condiciona decisivamente no risco de fogo, o seu conhecimento prévio pode auxiliar no gerenciamento e controle do uso do fogo.

Desde a década de 80 o INPE desenvolve e aprimora seu sistema operacional de detecção de queimadas em seu sistema operacional de detecção de queimadas imagens de satélites baseado nos dados da faixa ótico-termal de 3.7 a 4 um. Inicialmente, os focos eram obtidos nas imagens AVHRR (“Advanced Very High Resolution Radiometer”) de um dos satélites da série NOAA (Setzer et al., 1992). Gradualmente foram incluídos todos os NOAAs disponíveis, e no final de setembro/2002 a detecção de queimadas passou a ser feita também nas imagens do satélite Geoestacionário “GOES Este” a cada três horas, e nas imagens Modis dos novos satélites Terra e Acqua da NASA e pelo Meteosat Msg 2, aumentando para pelo menos 100 as detecções diárias. O interesse na utilização das técnicas de sensoriamento remoto na detecção das queimas é de especial importância em vastas áreas distantes ou desprovidas de meios de fiscalização. A partir de 1998, o grupo de queimadas da Divisão de Sistemas e Satélites Ambientais do INPE, desenvolveu e aprimorou o método de estimativa

do risco de fogo (RF) que utiliza precipitação, a umidade mínima e temperatura máxima do ar, e posteriormente, de acordo com Sismanoglu e Setzer (2004), passou a incluir os focos detectados por todos os satélites ao longo do dia. Outras referências podem ser encontradas em Sismanoglu e Setzer (2004) e há uma tabela no sítio do “Queimadas” que mostra a evolução do desenvolvimento do RF realizado pelo INPE até o presente. A partir do produto preliminar do RF com abrangência nacional introduzido em 1998 (Sismanoglu et al., 2002), diversas mudanças foram inseridas em sua metodologia e em 2006 o INPE passou a realizar por meio de cooperação com o Instituto de Meteorologia de la República Cuba (INSMET), os mapas de risco observado e previstos para a ilha de Cuba, no Caribe. Os trabalhos se desenvolvem mediante colaboração técnico-científica conjunta entre os especialistas cubanos e brasileiros. Na página principal do INSMET encontra-se o *link* para os “produtos agrometeorológicos” que mostra entre outros, o monitoramento diário do risco de fogo observado sobre a Ilha realizado com um modelo hidrometeorológico em base decadal desenvolvido internamente (Mejias, E. e Setzer, A., 2008). Além disso, no sítio do INPE as detecções dos focos sobre a Ilha e muitos outros produtos recentes de previsão do tempo (fogogramas) podem ser pesquisados e monitorados.

De acordo com o método do cálculo do Risco (Sismanoglu et al., 2002), inicialmente os dados de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, eram os SYNOP disseminados na rede da OMM e recebidos pelo INPE. Para a previsão do Risco em até 3 dias, era utilizado o modelo Global T063, com 200 km de resolução do INPE.

O conhecimento da distribuição espacial e temporal da precipitação é essencial no planejamento de diversas atividades econômico-sociais, tais como agricultura, pecuária, geração de energia, entre outras. A baixa densidade de observações meteorológicas em algumas regiões compromete significativamente os estudos relacionados aos sistemas meteorológicos que influenciam diretamente o regime de precipitação sobre a América do Sul. Muitos estudos (Sahany et al., 2010) vem suprindo a carência de dados observados através da utilização de técnicas de estimativa de precipitação obtida a partir de satélites (Rozante et al., 2010).

Os produtos de estimativa de precipitação do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) têm sido amplamente utilizados, tanto para avaliar resultados de modelos numéricos (Rozante e Cavalcanti, 2008; Rozante et al., 2010), quanto para combinar com dados de estações meteorológicas de superfície (Rozante et al., 2010; Mitra et al., 2009).

Este trabalho apresenta a nova versão 2010 do RF para Cuba, exemplificando as suas estimativas de chuva por meio do Satélite TRMM, além de avaliar o desempenho diário do algoritmo de cálculo diário do Risco de fogo em cinco meses de 2010, comparando as duas versões (SYNOP x TRMM) que incluem em seus métodos os dados de detecção de queimadas de todos os satélites possíveis para Cuba: TERRA, Acqua e GOES12/10.

## 2. Material e Métodos

Inicialmente, todas as variáveis necessárias no cálculo do Risco de Fogo diário para a versão SYNOP nos meses de maior estiagem (janeiro a maio) de 2010 foram reprocessadas, a saber: precipitação diária, inclusive os valores acumulados em 5, 10, 30, 60, 90 e 120 dias anteriores ao dia do cálculo, temperatura máxima e umidade mínima do ar diárias, e dados dos focos das imagens de todos os satélites disponíveis para Cuba. Os dados meteorológicos foram extraídos do banco de dados do CPTEC (Ferreira et al., 2000), e sua filtragem, processamento, e interpolação para gerar campos espaciais, foram feitas com os procedimentos rotineiros do CPTEC (Almeida e Melo, 2000); a visualização foi feita com o aplicativo GRADS (Doty, 1985). Os focos de queimadas foram extraídos dos arquivos diários de coordenadas, gerados pela DSA/CPTEC no contexto do trabalho de

monitoramento de queimadas do INPE (Setzer et al, 1992). A partir dos dados meteorológicos e de ocorrência de focos, os Riscos diários gerados pelas duas versões de cálculo para os 5 meses foram comparados célula a célula, com 0.05 graus de resolução (~5 km x ~5 km). As matrizes de Riscos X Focos foram agrupadas conforme as respostas das classes de níveis de Risco elevadas, com ocorrência de focos nas classes de Risco Alto a Crítico, resultando no gráfico linear da Figura 5.

## 2.1 Cálculos do Risco de Fogo

O Risco de Fogo também chamado de "Risco Observado" é a base teórica de referência para a determinação dos demais "riscos" tais como: o previsto com os modelos ETA (Sismanoglu e Setzer, 2004b) e Global T213 e além da versão semanal (ou futuro) aplicando o ETA com rodadas mais estendidas. (Sismanoglu e Setzer, 2004c).

## 2.2. Dados TRMM e dados das Análises Modelo T213/CPTEC

A partir de 2010, para suprir a baixa densidade de estações SYNOP, os dados de precipitação foram então substituídos pelas estimativas dos Sensores do Satelite-Radar TRMM da NASA. Esses dados são obtidos a cada 3 h e possuem resolução de 25 km e são distribuído para usos operacionais livremente (Rozante et al., 2010). Os dados de temperatura máxima do ar e de umidade mínima do ar, necessárias ao modelo do RF, são agora extraídos das Análises do Modelo Global T213 (60 km) do INPE e os dados dos focos registrados nos dias anteriores, agora são obtidos utilizando-se todas as imagens dos satélites disponíveis nos dias, ou seja: Goes 12, Terra e Acqua. Os dados gerais de precipitação, focos e análises são interpolados para 5 km de resolução para o cálculo do RF. O mapa de vegetação foi gerado pelos dados do 2002 do IGBP ([www.igbp.net](http://www.igbp.net)) para cinco biomas predominantes de Cuba.

## 2.3. Ciclo anual das queimas em Cuba

A Figura 1 apresenta a evolução do total de queimas de Nov/2000 até Abr/2010 utilizando os satélites Goes 10 e 12, Terra e Acqua, onde se vê que os meses de estiagem que concentraram as queimas de origem antrópica vão de janeiro a maio. Os dados dos satélites geoestacionário Goes 10 e 12 foram coletados a partir de 2004. As detecções mais significativas na Ilha são feitas por meio do Satélite Acqua (Manhã e Tarde) realizadas pelo INPE, Conabio/México e pela Universidade de Maryland (UMD), as quais somaram 17.000 focos (píxeis) neste período. Os Estados ou Departamentos de Cuba que normalmente mais se utilizaram desta prática, foram: Camaguey (3300f), Matanzas (2100 f), Ciego de Avila (1800 f), Granma (1600 f), La Habana (1450 f), La Tunas (1350 f) e Cienfuegos (1100 f).

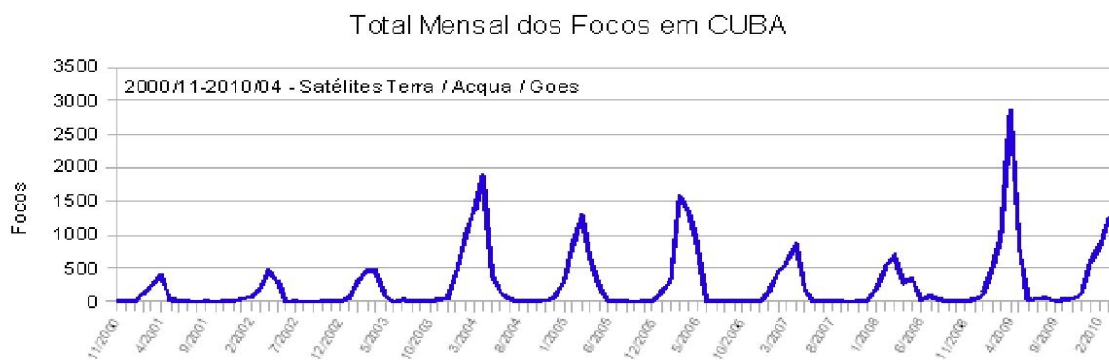
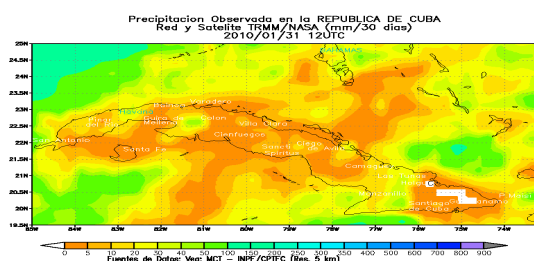


Figura 1. Variação mensal dos focos em Cuba nos últimos 10 anos detectados pelo INPE, MÉXICO e UMD (Universidade de Maryland), por meio dos satélites Terra, Acqua, Goes 10 e 12. Os meses mais secos vão de fevereiro a maio que apresentam os picos de queimas sobre a vegetação em Cuba.

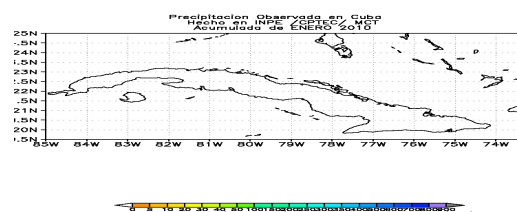
### 3. Resultados

#### 3.1. Precipitação mensal - TRMM e Synop

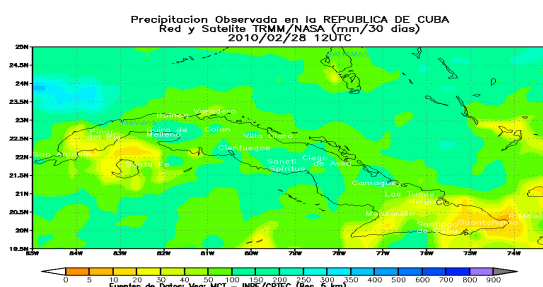
Sendo a precipitação o principal componente do RF, inicialmente a título de exemplos, são comparados os mapas dos totais mensais de precipitação gerados por meio dos dados das estações da rede Synop e aqueles estimados pelo TRMM para os quatro primeiros meses.



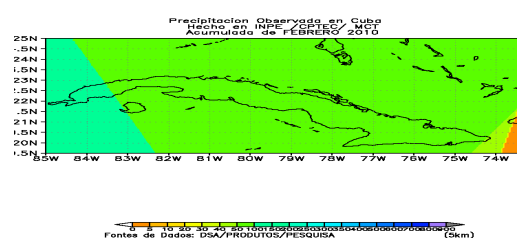
(2A)



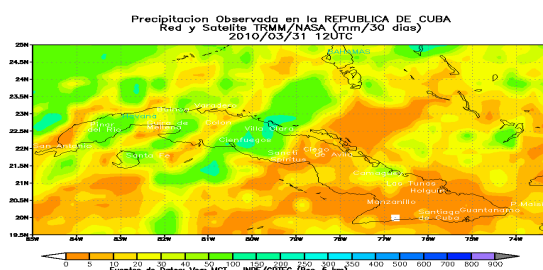
(2E)



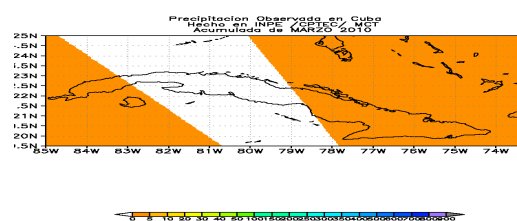
(2B)



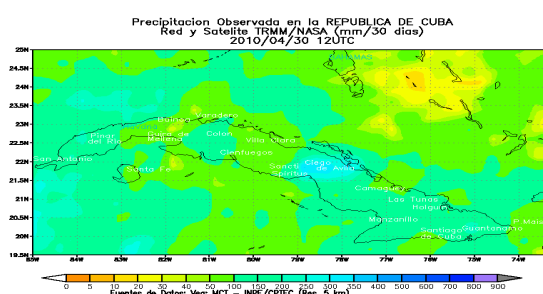
(2F)



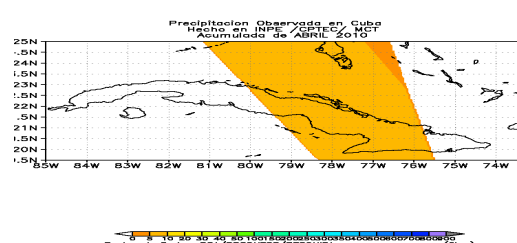
(2C)



(2G)



(2D)



(2H)

Figura 2. Os mapas ABCD mostram o total de precipitação estimada pelo TRMM para os meses de janeiro a abril de 2010, respectivamente. Os mapas EFGH mostram o total de precipitação obtida pelas estações Synop para os mesmos meses.

De acordo com os mapas da Figura 2, percebe-se uma diferença significativa entre os dois métodos de interpolação dos dados de precipitação, ou seja, a baixa densidade de

estações deve ter contribuído para as diferenças, especialmente nos meses de Abril (Figura 2H) e Março (Figura 2G). A melhor comparação entre os métodos está representada no mês de Janeiro (Figuras 2A e 2E), talvez pela ausência natural de precipitação. No mês de Março (Figuras 2C e 2G), percebe-se razoável concordância nos setores Leste e Oeste da Ilha, com exceção na região central em que alguns núcleos de +100 mm de precipitação (TRMM) não foram definidos pelos dados Synop. No geral, os dados do TRMM estão mais homogêneos espacialmente, tendendo a representar melhores resultados em todos os meses. Logicamente, a utilização destes dados diariamente deve afetar na qualidade dos diagnósticos e prognósticos do RF para a Ilha de Cuba. A baixa qualidade dos dados Synop para o mês de Abril (Figuras 2D e 2H) também é notável.

### 3.2. Risco de fogo médio mensal e total de focos de calor - TRMM e Synop

A seguir, na Figura 3, são apresentados os mapas de risco de fogo médios dos quatro primeiros meses, começando por Janeiro e Fevereiro de 2010, aplicando os dois métodos além dos mapas dos focos detectados por todos os satélites em Cuba.

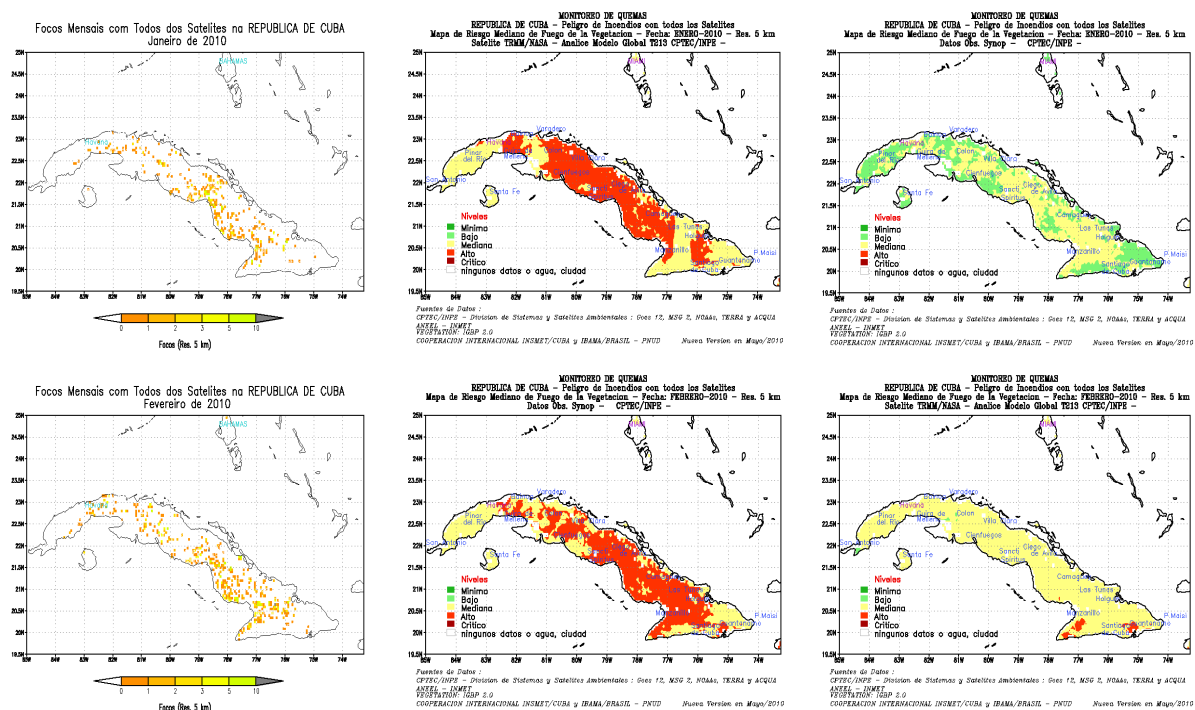


Figura 3. Mapas médios mensais do risco de fogo para Cuba aplicando os dois métodos (TRMM e Synop) e os totais de focos para os meses de janeiro e fevereiro/2010.

Para os dois primeiros meses analisados de acordo com a Figura 3, há muito boa correspondência entre os totais de focos e os níveis de risco alto observado, quando aplicado o método do TRMM. Apesar da distribuição espacial média do risco de fogo, a maioria dos focos acumulados está presente neste domínio do risco alto, como era de se esperar. Em janeiro houve 600 focos e em fevereiro 840 focos. Entretanto, pelo método Synop do RF, no mês de janeiro/2010 houve baixa representatividade dos focos acumulados. O risco de nível baixo prevaleceu. No mês de fevereiro/2010 a totalidade dos focos presentes foi estimada no nível de risco médio, ao passo que pelo método TRMM o nível foi predominante alto. Estes resultados comparativos sugerem a melhor qualificação do TRMM.

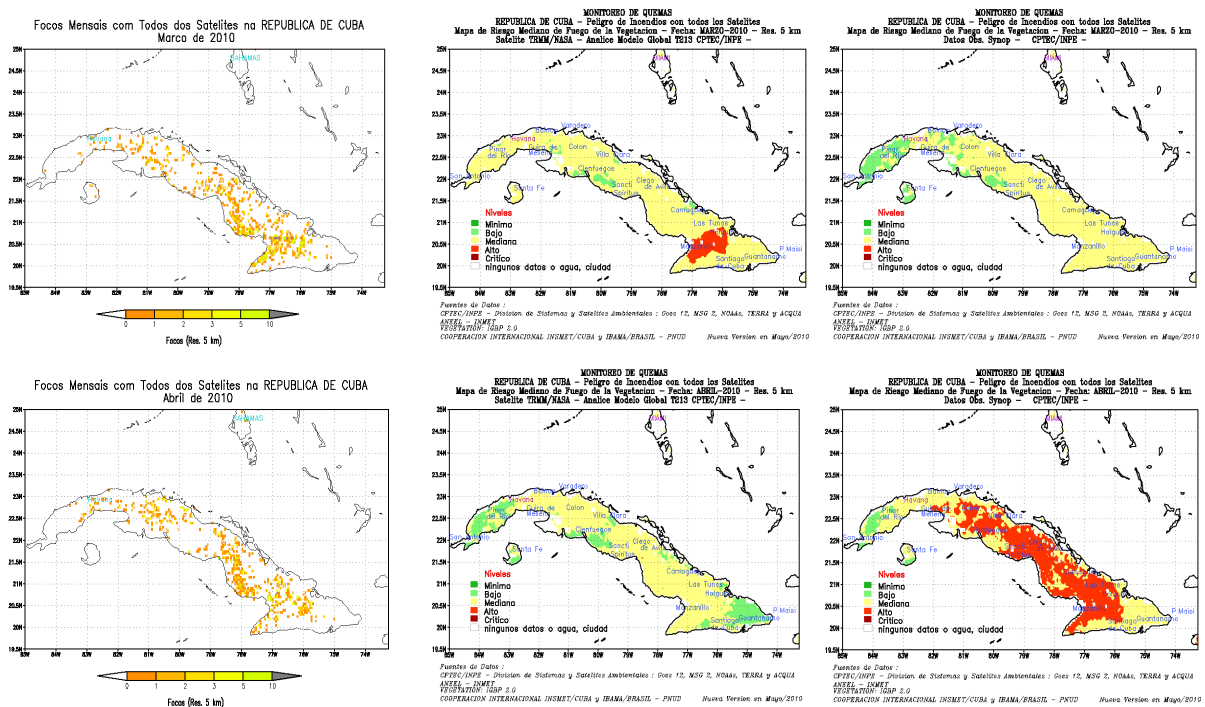


Figura 4. Mapas médios mensais do risco de fogo para Cuba aplicando os dois métodos (TRMM e Synop) e os totais de focos para os meses de março e abril/2010.

Nestes últimos dois meses, apesar de ocorrerem mais queimas (1.300 em março e 990 em abril), a maioria dos focos de calor ficou concentrado em média em nível de RF médio para ambos os métodos no mês de março. Entretanto neste mesmo mês o TRMM mostrou melhores resultados especialmente no setor leste da Ilha (nas localidades de Mazanillo e Holgua – 20.5N/77W) que apresentaram os pixels de concentração máxima de focos em níveis de risco alto (área vermelha). Por outro lado, em ambos os métodos houve boa concordância entre a ausência de focos e o risco baixo (área verde do mapa), próximo na localidade de Cienfuegos (22.2N/80.5W) e em outros setores. Em abril, o método Synop apresentou melhor desempenho apresentando riscos altos em áreas observadas com focos de calor (Figura 4). Isso pode ter ocorrido, de acordo com a Figura 2D, pelo excesso de chuvas estimadas pelo TRMM. Entretanto houve melhor correspondência entre as áreas de risco baixo diagnosticadas pelo TRMM e a correspondente ausência de focos do que o método Synop para este mês de abril (ver extremos leste e oeste da Ilha).

### 3.3. Porcentagens de acerto do Risco de Fogo - TRMM e Synop

A Figura 5 representa a variação diária da porcentagem de acertos das ocorrências de focos em área de Risco acima do nível alto, isso é, foi feito o cruzamento do mapa de risco diário com o mapa diário dos focos, e determinou-se qual a porcentagem desses ocorreu em área de risco maior do que alto. Esse procedimento foi repetido ao longo dos meses. Nota-se que nos primeiros 45 dias em que foram registrados 1.000 focos, o método do TRMM obteve o índice de acertos superior a 95% e em muitos dias 100%, enquanto que o método Synop oscilou em média de 80%. Após este período, até o início de março, o método Synop apresentou melhores resultados em média, apesar do número pequeno de focos. Por outro lado, ao longo desse mês de março, o TRMM apresentou melhor desempenho, atingindo até 95% de acerto, influenciado em parte pelo núcleo de risco alto mostrado no lado leste da Ilha (Figura 4). Em abril, os resultados foram semelhantes e satisfatórios, apesar de o mapa médio (Figura 4) apresentar o risco alto predominante no método Synop, prevalecendo o TRMM. Isso mostra que nem sempre a média mensal pode representar um padrão aceitável do risco de fogo. Por essa razão a avaliação é feita diariamente. Apesar das poucas ocorrências de focos, o mês de maio apresentou melhores resultados com método do TRMM.

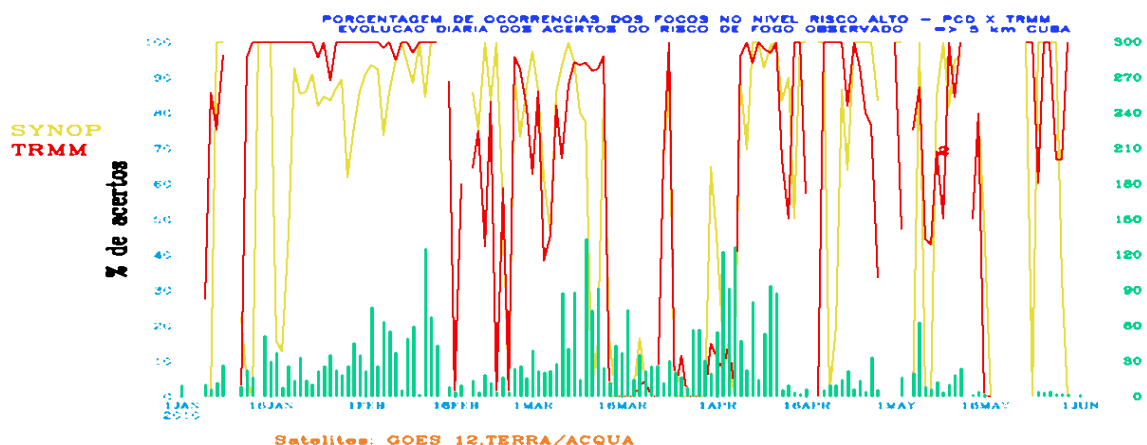


Figura 5. Porcentagem de acerto diário dos focos de calor para as ocorrências nos níveis de Risco acima de alto, para os meses críticos em Cuba no ano de 2010. (vermelho método TRMM e amarelo Synop. Em verde, os focos diários de todos os satélites: Goes 10/12, Terra e Acqua).

### 4. Conclusões

A avaliação em 2010 da porcentagem de ocorrências de focos em áreas de Risco de fogo com classes de Risco Alta e Crítica para as queimas detectadas pelos satélites Goes 10, 12 e Terra e Acqua em Cuba utilizando-se as estimativas de precipitação do satélite TRMM/NASA apresentou resultados satisfatórios, com índices de acertos superiores a 95% nos períodos críticos de estiagem. A escassez de dados de precipitação Synop da rede OMM oriundos de Cuba, refletiu-se na qualidade inferior dos resultados dos Riscos calculados sem dados TRMM, e os mapas mensais de precipitação acumulada mostram bem esta condição. A disponibilidade dos dados TRMM no site da NASA permitiu a implementação operacional da geração dos mapas de Risco para Cuba, feita no CPTEC desde 2006. Outras avaliações serão realizadas especialmente no contexto pontual, relacionando a densidade de focos. Em relação ao desempenho geral do RF original fora da América do Sul, o modelo com o TRMM apresentou resultados semelhantes àqueles encontrados originalmente em Sismanoglu e Setzer (2004<sup>a</sup> e b), que estudaram o RF para América do Sul com o hidroestimador

(Goes 10), mostrando a destreza do método em simular o RF em qualquer ecossistema. Outra questão importante refere-se à previsão do RF pelo T213, que deverá ser apresentada em breve.

### Referências Bibliográficas

Almeida, E. S., Melo, F. O, 2000. Metview 2.0 - Um desktop meteorológico para tratamento e visualização de dados meteorológicos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais...RJ**: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3256-3262.

Becerra, L.W.M., 2006. Uso de queimas prescritas en bosques naturales de Pinus tropicalis Morelet en Pinar del Río Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en Ciencias Forestales (Universidad de Pinar del Río Hermanos Saíz Montes De Oca). -- Ciudad de Habana : Editorial Universitaria, 2008. ISBN 978-959-16-0752-2. – 119 pág.

Cuerpo de Guardabosque (CGB). 2004. Informe anual del cuerpo de guardabosque de La República de Cuba. Pinar del Río. 12 p.

Doty, B.E., 1985. Using the grid analysis and Display System - Grads . Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions (COLA), College Park, MD, University of Maryland.

Mejias S. e Setzer A. Sistema “Queimadas” para Cuba, um exemplo de cooperación internacional para El enfrentamiento al fuego. XIII Simpósio Internacional de La Sociedad Latinoamericana de percepción remota y sistemas de informacion espacial. 23/set/2008.

Mitra AK, Bohra AK, Rajeevan MN, Krishnamurto TN. Daily Indian Precipitation Analysis Formed from a Merge of Rain-Gauge Data with the TRMM TMPA Satellite-Derived Rainfall Estimates. Journal of the Meteorological Society of Japan 87a(): 265. 2009.

Rozante, J. R., e I. F. A. Cavalcanti. Regional Eta model experiments: SALLJEX and MCS development, J. Geophys. Res., 113, D17106, doi:10.1029/2007JD009566. 2008.

Rozante J. R. ; Moreira, D. S. ; Gonçalves, L. G. G. ; Vila, D. A. Combining TRMM and Surface Observation Precipitation: Technique and Validation Over South America. Weather and Forecasting, 2010.

Sahany, S., V. Venugopal, and R. S. Nanjundiah (2010), Diurnal-scale signatures of monsoon rainfall over the Indian region from TRMM satellite observations, *J. Geophys. Res.*, 115, D02103, doi:10.1029/2009JD012644.

Setzer et al., 1992. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. *Climanálise*, 7 (8): 40-53, agosto/1992.

Sismanoglu, R.A. e Setzer, A.W., 2004. Avaliação da Previsão do Risco de Fogo desenvolvida no INPE aplicando o ETA: Análise objetiva e comparativa entre duas versões para 2003. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais...Fortaleza**: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004b.

Sismanoglu, R.A. e Setzer, A.W. Previsibilidade do Risco de Fogo Semanal aplicando o Modelo ETA em até 4 semanas com atualização de dados observacionais na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais...Fortaleza**: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004c.

Sismanoglu, R.A. et al., 2002. Avaliação inicial do desempenho do risco de fogo gerado no Cptec. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais... SP**: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2002, p.1991-1999.