

Risco de fogo da vegetação na América do Sul: comparação de três versões na estiagem de 2004

Raffi Agop Sismanoglu
Alberto Setzer

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Rod. Pres. Dutra, Km.39, 12630-000 Cachoeira Paulista, SP
{ raffi, asetzer } @cptec.inpe.br

Abstract. Results from three versions of the CPTEC vegetation fire risk products for South America are compared and the choice for the latest one is justified. Only weather data were used in the initial 1998 products. In the last version, the detection of fires ascertains a high risk during three days for their corresponding grid cells, three classes of vegetation are considered and the precipitation history spans 120 days. In 2004, for the July-October dryness period in the central part of the continent, when ~74% of the burning occurred and 217.000 fire pixels were registered on NOAA-12 images, the fires in areas of extreme risk accounted for about 91% or the cases; when the three higher classes of risk were considered, this value increased to 99%. A more detailed precipitation history did not increase significantly the skill of the model, but the inclusion of vegetation classes obtained from AVHRR classifications and of the occurrence of fires raised the skill to excellent levels. Following the improved results, the new method for fire risk evaluation was operationally adopted at CPTEC. Regular updates of the vegetation cover a few times every year should be incorporated as the next improvement in the fire risk model.

Palavras-chave: fire-risk, fire pixel, AVHRR sensor, fire-risk prediction, risco de fogo, píxeis de fogo, sensor AVHRR, previsão de risco de fogo.

1. Introdução.

Desde meados da década de 80 o INPE desenvolve e aprimora seu sistema operacional de detecção de queimadas em imagens de satélites baseado nos dados da faixa ótica-termal de 3.7 a 4 um (INPE, 2004). Inicialmente, os focos eram obtidos nas imagens AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer") de um dos satélites da série NOAA (Setzer et al., 1992). 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 AQUA da NASA, aumentando para pelo menos 16 as detecções diárias (INPE, 2004).

A partir do produto preliminar de risco de fogo com abrangência nacional introduzido em 1998 (Sismanoglu et al., 2002), inúmeras mudanças foram introduzidas em sua metodologia, de acordo com o resumo na **Tabela 1** a seguir.

item	ANTES (1998-2002)	ATUAL
1	Vegetação com 5 classes, IBGE 92	3 índices de susceptibilidade (NDVI e 3.7um)
2	Mapas e dados com 50 km resolução	25 km de resolução
3	Cobertura Nacional	Cobre quase toda América do Sul
4	Sem dados de focos	Com focos NOAA-12/noite e NOAA-16/tarde
5	Previsão do risco diário com modelo CPTEC Global T063, de 200 km.	Risco diário c/modelo CPTEC Global T126, de 100km. Também modelo ETA de 40km para risco diário, e futuro semanal durante um mês
6	Histórico de Precipitação de 5, 10, 15, 30, 60 e 90 dias	Histórico de Precipitação de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 90 e 120 dias

Tabela 1. Quadro resumo de mudanças e melhorias no cálculo do risco de fogo desde 1998.

Encontram-se na Internet duas outras iniciativas nacionais para monitoramento de queimadas/incêndios florestais por satélites e de estimativas de risco de fogo da vegetação: a do INMET (2004), de abrangência geral, e a do SIMEPAR, específica do Paraná. Esta última, denominada RIF - Sistema de Monitoramento e Previsão Climática para o Risco de Incêndio Florestal no Paraná, foi organizada com a Defesa Civil, CEDEC, (Zaicovski et al., 2000; Deppe, de Paula e Prates, 2003), e diariamente, calcula os índices de risco de incêndios florestal conforme os métodos implementados por Soares (1995).

Este trabalho teve a finalidade de avaliar o desempenho diário do algoritmo de cálculo diário do risco de fogo do INPE (2004) para a América do Sul nos meses críticos de 2004 com o modelo atual, denominado "Versão 3" (item 6 da **Tabela 1**). Ele inclui em sua metodologia, além de dados de detecção de queimadas dos satélites NOAA, novos tratamentos dos históricos de precipitação de 1 a 120 dias em relação à versão anterior que aplicava históricos de 5 a 90 dias e incluía também a ocorrência de focos, chamada de "Versão 2". Paralelamente também é analisada uma versão que não inclui a presença dos focos, aqui chamada de "Versão 1".

2. Materiais e Métodos.

Inicialmente, todas as variáveis necessárias no cálculo do risco de fogo diário em 2004 para no período de maior ocorrência de focos foram reprocessadas, a saber: precipitação diária, inclusive os novos valores acumulados em 2, 3, 4 e 120 dias, além dos 5, 10, 30, 60 e 90 dias anteriores ao dia do cálculo; temperatura máxima e umidade mínima do ar diárias, e; dados dos focos das imagens NOAA-12 das passagens entre ~19h e ~21h UTC e das NOAA-16 entre 15h e 16h UTC. 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) e a visualização, 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 (INPE, 2004; 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 12 meses foram comparados célula a célula, cada uma com 0.25 graus de resolução (~25 km x ~25 km). No estudo anterior conduzido em (Sismanoglu e Setzer, 2004d), as matrizes de Riscos X Focos foram agrupadas de acordo com as respostas das classes de níveis de risco elevadas, ou seja, com a ocorrência de focos nas classes de Risco Médio a Crítico e Alto a Crítico. Entretanto neste trabalho a classe extrema (Crítica) também será analisada isoladamente por se tratar do índice mais extremo do risco.

Cálculo do Risco de Fogo (RF)

O Risco de Fogo, RF, também chamado de "Risco Observado", é a referência para a determinação dos demais "riscos" tais como o "Risco Previsto" para até três dias com os modelos ETA (Sismanoglu e Setzer, 2004b) e Global T126 e o "Risco Futuro" semanal futuro para até quatro semanas aplicando o ETA com rodadas mais estendidas (Sismanoglu e Setzer, 2004c).

A seguir será apresentada, resumidamente a nova seqüência de cálculos do RF, criados e aprimorados por Setzer (INPE, 2004) desde 1998.

Determina nova seqüência histórica da precipitação em mm nos períodos de 1, 2 a 3, 4 a 5, 6 a 9, 10 a 15, 16 a 30, 31 a 60, 61 a 90, e 91 a 120 dias.

Cada classe de precipitação, possui uma função exponencial $f(x)$ variando de 0 a 1, chamados de "fatores de precipitação" que determinam o "Período de Secura" (PSE) :

$$f(x_{n=1..120}) = e^{-A_{n=1,5}x_{n=1,5}}$$

em que A é constante estimada para cada função, variando de -0.0007 para 120 dias de chuva acumulada a -0.14, para 1 dia de chuva acumulada e x é a precipitação em mm

Determina o novo "Período de Secura" a partir dos fatores de precipitação.

$$PSE = 105 * f(x1) * f(x5) * \dots * f(x120)$$

Determina o risco de fogo "básico" (máx.=0.9 dependendo de PSE) p/ cada um dos cinco tipos de vegetação.

CLASSVGET (N=1,5)	VEGET.1	VEGET.2	VEGET.3	VEGET.4	VEGET.5
TipoVeget	Ombr.densa	Ombr.Aberta	Contato+Campinarana	Estacional+Decídua+Semi-Deciaual	Não Floresta
Constte. A	1.715	2	2.4	3	4

$$\text{Risco Básico } (RB_{n=1,5}) = 0,9 * [1 + \sin(A_{n=1,5} * PSE)] / 2$$

Correção do risco de fogo para a umidade relativa da tarde.

$$RU_{n=1,5} = RB_{n=1,5} (-0.006 * UR + 1.3),$$

em que UR é umidade relativa observada das 18UTC

Correção do risco de fogo para a temperatura máxima

$$RT_{\max n=1,5} = RU_{n=1,5} (0.02T_{\max} + 0.4),$$

em que T_{\max} é a temperatura observada das 18UTC

Obs: As equações anteriores às atuais, poderão ser encontradas em (Sismanoglu e Setzer, 2004d).

Determina o Risco de Fogo (RF, variando de 0, risco mínimo a 1, risco crítico)

$$RF_{n=1,5} = RT_{\max_{n=1,5}} * RU_{n=1,5}$$

3. Resultados.

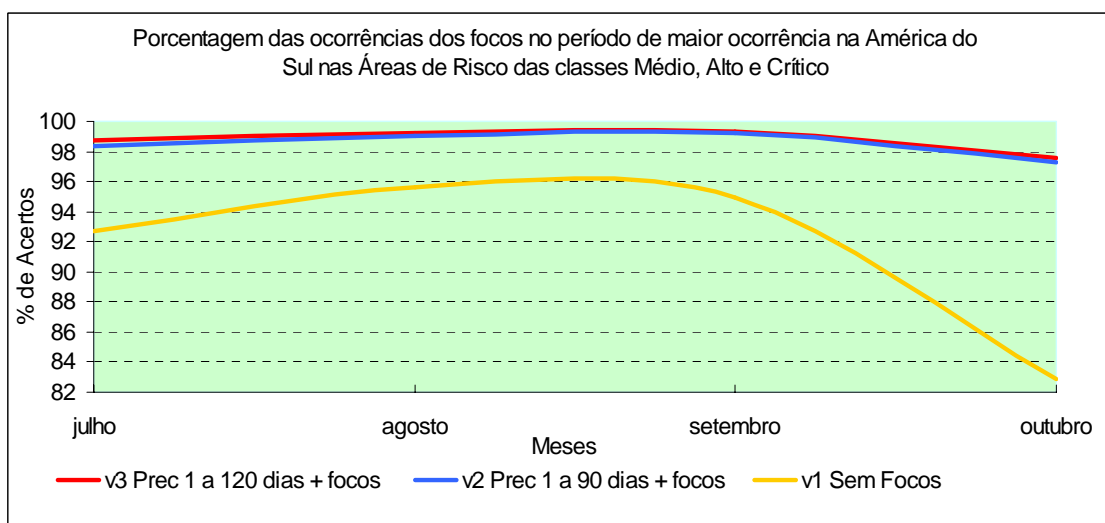
Os resultados da avaliação da porcentagem de acertos dos cerca de 217.000 focos detectados com o NOAA-12 apenas no período de julho a outubro de 2004, distribuídos em classes de níveis de risco de fogo, está na **Tabela 2** e seu comportamento temporal pode ser visualizado nos gráficos das **Figura 1A**, **Figura 1B** e **Figura 1C**.

Com relação ao gráfico da **Figura 1A**, a linha em **Vermelha** representa a porcentagem de acertos do total de focos observados na América do Sul no período mais seco, diagnosticados em áreas de níveis Médio, Alto e Crítico pela metodologia nova (Versão 3); a curva **Azul**, representa o mesmo diagnóstico, porém com a metodologia anterior, a Versão 2, considerando o histórico de precipitação mais limitado. Já a linha em **Laranja** representa a porcentagem de acertos do total de focos observados obtidos pela Versão 3 sem considerar a presença dos focos no algoritmo (Versão 1). Os dados originais para todos meses estão na **Tabela 2** abaixo.

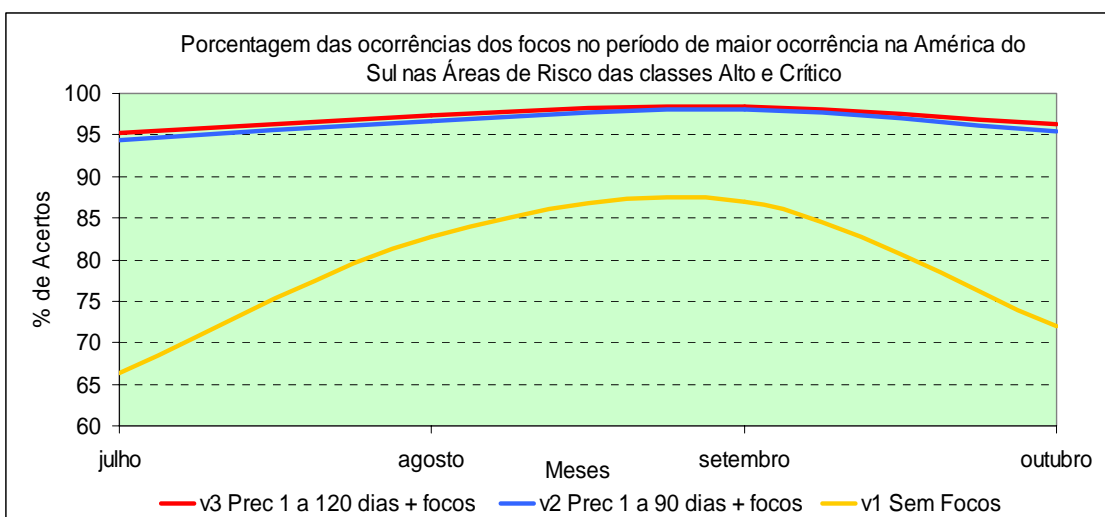
	Meses	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Total
Classe de Risco	Focos	21.800	50.600	95.000	49.500	217.000
Crítico	versão 1	1	18	41	28	22
	versão 2	87	90	93	89	90
	versão 3	87	91	95	92	91
Alto e Crítico	versão 1	66	83	87	72	77
	versão 2	94	97	98	96	96
	versão 3	95	97	98	96	97
Médio, Alto e Crítico	versão 1	93	96	95	83	92
	versão 2	98	99	99	97	98
	versão 3	99	99	99	98	99

Tabela 2. Porcentagens de acertos da ocorrência dos focos de queimadas NOAA-12 em áreas com o seguintes riscos de fogo da vegetação para três versões de cálculo em 2004: Médio, Alto e Crítico; Alto e Crítico e; Crítico.

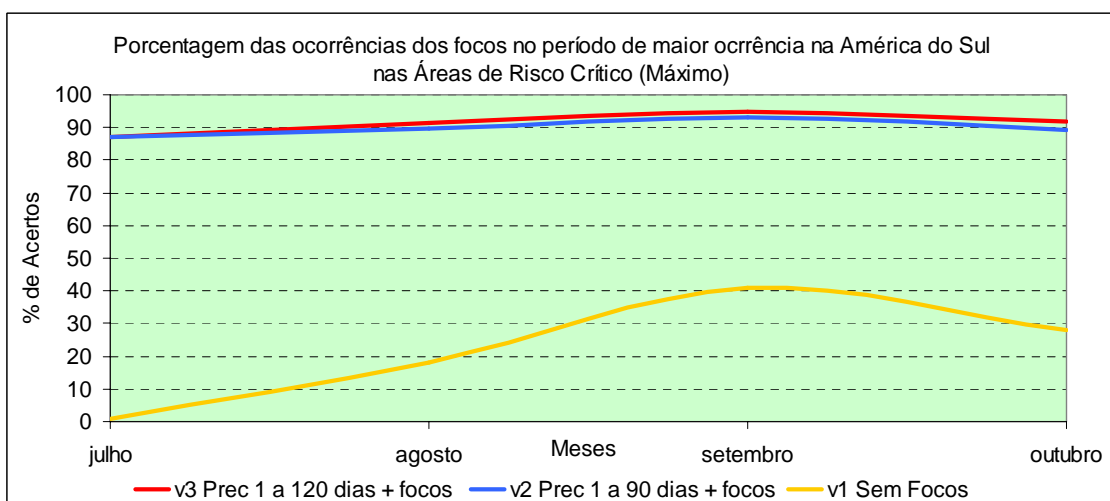
Em termos gerais, a introdução dos novos termos de precipitação na Versão 3 melhoraram discretamente os índices de acertos das curvas em comparação com a Versão 2: foram poucos pontos porcentuais em relação à média, nas três classes estudadas. Porém, em relação à Versão1, as diferenças são muito significativas uma vez que a presença de uma queima em área de baixo risco nominal prevê em pelo menos 3 dias novas ocorrências de fogo no mesmo ponto de grade, desde que não ocorra precipitação.



A



B



C

Figura 01. Porcentuais de acertos do total de focos NOAA-12 nas classes de risco elevado de fogo observados nos períodos críticos em 2004 para três versões de cálculo.

De acordo com a **Tabela 1**, no período de maior frequência de queimas, de agosto e setembro, a Versão 3 melhorou em 2 pontos percentuais os índices de acertos das curvas do nível máximo (Crítico) em relação à Versão 2, índices estes considerados satisfatórios. O aumento mesmo pequeno, deve refletir positivamente nos cálculos dos riscos previstos utilizando os modelos numéricos ETA e Global T126 do CPTEC, que utilizam o Risco de Fogo como base de cálculo futuro (Sismanoglu e Setzer, 2004). Ainda de acordo com a **Tabela 1**, e considerando os 4 meses, mais de 91 % dos 217.000 focos ocorreram nesta faixa de risco extremo com a Versão 3. Percebe-se a melhora na capacidade do modelo em reproduzir corretamente estes riscos devido à estiagem extremamente prolongada e estável em vastas regiões da América do Sul central, e em especial nas regiões Central e Nordeste do País.

Quantitativamente, ao considerar no cálculo do risco o uso de focos, na média, cerca de 99 % dos quase 217.000 focos detectados pelo Noaa-12 nas passagens das ~19 às ~21UTC ocorreram em vegetação com níveis de riscos Médio a Crítico considerando as Versões 2 e 3. Deve-se notar também o bom desempenho do modelo do risco na Versão 1 que não considera a presença de focos e que depende basicamente dos parâmetros ambientais.

Considerando apenas a classe de risco Alta, nota-se que 97% dos focos ocorreram nesta faixa para o período de julho a outubro, aumentando 1 pontos percentual em relação à Versão 2, ou seja ~1.500 focos a mais foram diagnosticadas nesta faixa de risco ao longo dos quatro meses.

4. Conclusões.

A avaliação com os dados prévios de 2004 para a porcentagem de ocorrências de focos em áreas de risco de fogo com classes Crítica, Alta e Crítica, e também Média, Alta e Crítica, para as queimas detectadas pelo satélite NOAA-12 entre ~19 e ~21UTC, apresentou resultados satisfatórios, com índices de acertos superiores a 97% no períodos de maior ocorrência de focos (junho a outubro), considerando as duas últimas versões de cálculo.

Com relação ao novo método, que introduz nos algoritmos o histórico de precipitação mais detalhado, além da presença de focos em regiões com risco hipotético baixo, os índices atingiram 99% de acertos dos focos nas classes Média a Crítica, especialmente nos períodos de concentração de queimas. Na versão anterior, no período de maiores incidências de focos, e especialmente no Brasil Central e no Nordeste, os índices de acertos variaram entre 97 % e 99%.

O maior detalhamento do histórico da precipitação no cálculo do risco não contribuiu significativamente na melhoria dos índices de acertos; apenas na faixa máxima do risco os acertos aumentaram de 93% para 95% no mês de setembro, que totalizou mais de 95.000 focos de queimas na parte da América do Sul abrangida pelas imagens NOAA recebidas no INPE.

Estes novos resultados também implicam em melhorias no cálculo do risco de fogo diário previsto para até 3 dias com base nos modelos ETA e GLOBAL do INPE (Sismanoglu e Setzer, 2004), devendo também beneficiar o desempenho de outros produtos operacionais como os modelos de dispersão de poluentes RAMS usados para quantificar as emissões de queimadas e estimar as trajetórias das emissões (Freitas et al, 2004).

Considerando o período mais crítico do ano de 2004, as classes de risco mais elevadas, e portanto as mais relevantes para as queimadas e incêndios florestais, apresentaram desempenho muito satisfatórios, abrangendo cerca de 99% dos focos detectados.

Melhoria adicional no cálculo de risco, caso seja possível, talvez seja obtida com o uso informações atualizadas da cobertura vegetal uma ou mais vezes por ano, e extraídas de produtos de satélites.

5. Agradecimentos.

Os autores desejam expressar apreço às diversas pessoas e Instituições Públicas que colaboraram ou financiaram diretamente a execução destes trabalhos, em especial o INPE, IBAMA/PNUD, o CNPq e a FAPESP, pelo apoio técnico e financeiro e às equipes do DSA e do CPTEC.

6. Referências.

- Almeida, E. S., Melo, F. O., 2000. Metview 2.0 - Um desktop meteorológico para tratamento e visualização de dados meteorológicos. In: Congr. Brasil. de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais**, RJ: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2000, pp.3256-3262.
- Deppe, F., de Paula, E.V. e Prates, J.E., 2003. Monitoramento de incêndios e do estado da vegetação através da utilização de imagens NOAA/AVHRR. **Anais** 9, 2003, Simp. Brás. Sens. Remoto, B. Horizonte, Brasil, 05 -10 abril 2003, INPE, pp. 453-460.
- 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.
- Ferreira, S.H.S. et al., 2000. Banco de Dados Meteorológicos para o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. In: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 10, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais**. RJ: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3118-3125.
- Freitas, S.R., Longo, K.M., Silva Dias, M.A F., et al. Monitoring the Transport of Biomass Burnig Emissions in South America, 5, RAMS Users Workshop Special Issue, 2004. In press
- Inmet. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/queima/foco_calor.html>. Acesso em: 21.Nov.2004.
- Inpe. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento de queimadas. Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/queimadas>> Acesso em 21.Novembro.2004.
- Nova Dutra, Concessionária. Disponível em: <<http://www.novadutra.com.br/>>. Acesso em: 15. Março.2004.
- PrevFogo Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo/>>. Acesso em: 12 jan. 2004.
- Proarco. Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. Disponível em: <<http://www2.ibama.gov.br/proarco/>>. Acesso em: 5 maio 2004.
- 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., Setzer, A, Justino, F.B, e Lima, F.W.A., 2002. Avaliação inicial do desempenho do risco de fogo gerado no Cptec. In: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu, PR, **Anais**. SP: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2002, pp.1991-1999.
- 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: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais**. Fortaleza: Soc. 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: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais**. Fortaleza: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2004c.
- Sismanoglu, R.A. e Setzer, A.W. Risco de Fogo para a vegetação da America do Sul: Comparação de duas versões para 2003. In: Congr. Brasileiro de Meteorologia, 13, 2004, Fortaleza, CE, **Anais**. Fortaleza: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2004d.
- Soares, R. V., 1995. **Incêndios Florestais - Controle e uso do fogo**. Fundação de Pesquisas Florestais (Fupef) do Paraná. Curitiba – Paraná.
- Zaicovski, M. B.; Guetter, A. K.; Quadro, M. F. L., 2000. Sistema de Monitoramento e Previsão Climática para o risco de incêndio florestal (RIF) no Paraná. Em: Congr. Brasileiro de Meteorologia, X, 2000, Rio de Janeiro, RJ, **Anais**. RJ: Soc. Brasileira de Meteorologia, 2000, p.3406-3412.