

# COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE RISCO DE QUEIMADAS PELO ÍNDICE DE HAINES, ANGSTRÖM, MONTE ALEGRE E O HIDROTERMOMÉTRICO NA REGIÃO DE VIÇOSA-MG NO PERÍODO DE 01 A 30 DE SETEMBRO DE 2003

Carlos Fernando Lemos<sup>1</sup>, Flávio Justino<sup>2</sup>, Hygor Aristides Rossoni<sup>1</sup>

**RESUMO** – Foram elaborados vários métodos para indicar o desenvolvimento de queimadas, sendo que todos possuem suas particularidades e procedimentos próprios; porém, todos dependem das condições atmosféricas envolventes e dados meteorológicos. Os princípios básicos são: altas temperaturas e umidade e índices pluviométricos baixos, onde estes parâmetros associados aumentam as possibilidades de ocorrer queimadas incontroláveis e acidentais. Existem métodos não acumulativos e os métodos cumulativos, em que os métodos não cumulativos baseiam-se somente nas condições do tempo vigente no dia, como exemplo o Fator de Risco de Angström. Os métodos cumulativos consideram as condições climáticas de uma sucessão de dias, como por exemplo: Fórmula de Monte Alegre, Índice Higrotermométrico e o Índice de Haines. Assim, serão comparados todos estes índices para verificar qual destes métodos teria maior índice de acertos em relação ao desenvolvimento das queimadas reais. As queimadas e incêndios florestais causam, adicionalmente, custos e degradação ambiental e são fatores negativos para a sociedade como um todo. Um dos principais efeitos é a liberação de quantidades significativas de carbono para a atmosfera pela queima de biomassa vegetal, que contribui com o aquecimento global, mais conhecido como efeito estufa. A cada ano, em todo o mundo, áreas de florestas equivalentes ao território de Portugal são destruídas. Este estudo visa indicar qual melhor método para o gerenciamento e monitoramento dos riscos de queimadas para o Brasil, sendo utilizado o dia 25 do mês de setembro de 2003, como estudo de caso, pois foi considerado o dia mais crítico em relação a queimadas e incêndios durante este mês e também será estudado os métodos durante todo o mês, objetivando a comparação destes para o Município de Viçosa-MG. Os valores indicados pelos métodos demonstrarão as variações particulares de cada um. A oscilação entre os métodos proverá ajuda para o gerenciamento de áreas críticas e tomadas de decisões estratégicas para o controle de queimadas, assim como verificar o comportamento de cada método objetivando resultados descritivos comportamentais e individuais das queimadas, para que posteriormente possa ocorrer operacionalmente o controle e gerenciamento deste fenômeno e indicar o melhor método.

Palavras-chave: Climatologia, modelagem, risco de fogo.

## **COMPARISON AMONG METHODS OF RISKS OF FIRES BY INDEXES OF HAINES, ANGSTRÖM, MONTE ALEGRE AND HIGROTERMOMETRIC IN THE REGION OF VIÇOSA-MG, IN THE PERIOD FROM 01 TO 30 OF SEPTEMBER OF 2003**

**ABSTRACT** – Various methods were developed to indicate the development of fires. All have their own procedures and particularities, but all methods depend on the surrounding atmospheric conditions and weather data. The basic principles are: high temperatures and low humidity and rainfall, in which these parameters are associated with great chances of uncontrollable and accidental fires. There methods are non cumulative and cumulative, in which non cumulative methods are based only on the current

<sup>1</sup> Instituto de Ciências Exatas - Gestão Ambiental - UFV - Campus Florestal. E-mail: fernando.lemos@ufv.br, rosoni@ufv.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola - DEA/UFV. E-mail: fjustino@ufv.br



*weather conditions on the day, as the risk factor of Angström. Cumulative methods consider climatic conditions of a succession of days, as for example: Monte Alegre formule, Higrótermic Index and the Haines index. So, all these indexes will be compared to determine which of these methods would have greater order in relation to the development of actual fires. Burning and forest fires cause, additionally, costs and environmental degradation and negative factors for society as a whole. One of the main effects is to release significant amounts of carbon into the atmosphere by burning biomass plant that contributes to global warming, better known as the greenhouse effect. Each year, worldwide, forest areas equivalent to the territory of Portugal are destroyed. This study aims to indicate which is the best method for risk management and monitoring of forest fires for Brazil, which will be used to bounce the 25 day of September 2003, as a case study because it was considered to be more critical of the burned and fires during this month and will also be studied methods during the entire month, having as objective the comparison of methods for the municipality of Viçosa-MG. The values indicated by particular variations will demonstrate each method. The oscillation between the methods will provide help in the critical areas of management and strategic decision-making for fire control, as well as to verify the behavior of each method, aiming at individual behavioral and descriptive results of burning, so that later may occur operationally the control and management of this phenomenon and indicating the best method.*

*Keywords: Climatology, fire risk, modelling.*

## 1. INTRODUÇÃO

A queima de biomassa nos ecossistemas devido à expansão da fronteira agrícola, com a conversão de florestas e savanas em pastagens e devido à renovação de cultivos agrícolas, são alguns dos mais importantes fatores que causam impactos sobre o clima e a biodiversidade (Kirchoff, 1997). As queimadas ainda provocam o empobrecimento do solo, a destruição da vegetação, problemas de erosão e poluição atmosférica, e estão ligadas a alterações na composição química da atmosfera (Crutzen & Andreae, 1990).

Queimadas e incêndios florestais nem sempre têm sido atribuídos diretamente a ação humana. Por exemplo, estudos palinológicos na região central do cerrado brasileiro indicam a presença de carvão em reconstruções que datam de 32.000 anos antes do presente (AP) (Ferraz-Vicentini, 1999; Salgado-Labouriau & Ferraz-Vicentini, 1994). Este período da última era glacial se estende de 100.000 a 10.000 anos AP, foi caracterizado por um clima mais frio e úmido que o atual (Cruz et al., 2005; Justino, 2004). Todavia, muito pouco se sabe sobre as causas que levaram a condições suscetíveis ao fogo neste período.

O fogo é usado pelos agricultores para converter florestas derrubadas em cinzas no processo de preparar as terras para o plantio, e para combater as plantas invasoras de pastagens (Diaz et al., 2002). Devido a todos esses fatores o processo de derrubada e queimada

se tornou o instrumento predominante para o preparo do solo na região Amazônica e no Brasil, sobretudo em pequenas e médias propriedades (Homma et al., 1993).

As queimadas e incêndios florestais causam, adicionalmente, custos negativos para a sociedade como um todo. Um dos principais efeitos é a liberação de quantidades significativas de carbono para a atmosfera pela queima de biomassa vegetal, que contribui com o aquecimento global, mais conhecido como efeito estufa (Diaz et al., 2002).

As queimadas e incêndios também afetam o ciclo hidrológico e o sistema climático regional, inibindo a chuva pela liberação de fumaça (Rosenfeld, 1999), assim como os ciclos de carbono e nutrientes das florestas existentes. São diversas as perdas e danos agropecuários causados pelo fogo na produção agropecuária, abrangendo desde a queima acidental de áreas de pastagens e lavouras, até a destruição de benfeitorias como casas, cercas e equipamentos. No entanto, as pesquisas revelam que, em aproximadamente 85% das propriedades rurais, a presença de fogo acidental em áreas de abertura incidem fundamentalmente sobre a pastagem, danificando cercas e reduzindo a capacidade de pastejo (Alencar et al., 1997; Nepstad et al., 1999).

O nosso objetivo é avaliar estes métodos, que auxiliará como linha base de avaliações históricas e mudanças futuras no potencial de distribuição das



queimadas no Brasil, direcionando estas necessidades para o gerenciamento e monitoramento, principalmente no controle das queimadas.

Os valores e locais indicados neste estudo demonstrarão as variações diárias. A climatologia resultante proverá de ajuda para o gerenciamento de áreas críticas e tomadas de decisões estratégicas para o controle de queimadas no Brasil, assim como verificar o comportamento de cada método, indicando alto e moderado risco, objetivando resultados descritivos para o clima comportamental das queimadas, para que posteriormente possa ocorrer operacionalmente o controle e gerenciamento deste fenômeno.

Ressalta-se que o mês de setembro do ano de 2003 foi o mês mais crítico no Brasil em relação a altas frequências de queimadas e incêndios, chegando a ter 57.308 pontos de queimadas em todo o Brasil de um total de 212.977 em todo o ano. O modelo indicou através do Índice de Haines que os maiores picos foram na região Central do Brasil, em Minas Gerais e no Nordeste Brasileiro (Climanálise, 2003).

Assim, demonstraremos o desenvolvimento das queimadas para todo o Estado de Minas Gerais, para ter uma explanação geral, através dos métodos proposto neste estudo, no qual serão comparados os valores descritos para cada método, sendo considerados os valores altos (6) e moderados (5) dos índices de desenvolvimento das queimadas no Município de Viçosa-MG neste período.

## 2. METODOLOGIAS E DADOS

O Índice de Haines (IH) será o primeiro método cumulativo aplicado, sendo uma ferramenta para gerenciamento e controle de queimadas e incêndios muito utilizado nos Estados Unidos, na Europa, Ásia e na Austrália (Lemos et al., 2012). Este índice relaciona a estabilidade Atmosférica e umidade, desenvolvido para uso na previsão de desenvolvimento de queimadas e incêndios florestais. O ar seco afeta diretamente o comportamento do fogo, com baixa umidade do ar, que por sua vez, resulta em mais combustível disponível para queimar (fenômeno de seca) e aumenta a probabilidade de ocorrer um espalhamento maior da queimada (Haines, 1988 e 1989).

O segundo método não cumulativo aplicado será do Fator de Risco de Angström – FRA, que se baseia somente nas condições do tempo vigente no dia. Os

dados coletados são simples, sendo coletadas a umidade relativa e a temperatura do termômetro do horário das 13 horas local e será calculada através de uma fórmula (Fórmula 1).

O terceiro método cumulativo aplicado será o método cumulativo da Fórmula de Monte Alegre – FMA, muito usado no Brasil. Este método utiliza dados cumulativos do dia anterior multiplicado pelo fator  $f$ , somado com 1 centésima parte da umidade relativa das 13 horas local (Fórmula 2).

O quarto método aplicado será o método cumulativo do Índice Higrotermométrico – D, que se baseia somente na temperatura e na umidade relativa diária (Fórmula 3).

Parte deste estudo demonstrou também que as condições gerais da atmosfera atuantes associadas à alta subtropical do Atlântico Sul (ASA) com o período de maior frequência de queimadas no Brasil influenciam também neste fenômeno, assim como o estudo climatológico da região e do estado de Minas Gerais durante este período (Lemos, 2006).

No presente estudo, serão estudadas as características do tempo dominante sobre a região de Viçosa-MG, durante este mês e o dia 25/09, a fim de entender melhor os métodos descritivos das queimadas, associados às condições de propagação atuantes durante o dia e o período. Foram avaliadas as características e análises climatológicas e sinóticas de períodos de tempo curto com áreas limitadas para os Estados Unidos, obtendo bons resultados (Werth & Werth, 1998).

Por conseguinte, estes métodos auxiliarão como linha base de avaliações históricas e mudanças futuras no potencial de distribuição das queimadas no Estado de Minas Gerais, direcionando estas necessidades para o gerenciamento e monitoramento, principalmente no controle das queimadas e gerenciamento de áreas críticas e tomadas de decisões estratégicas para o Estado de Minas Gerais. Ainda, há possibilidade de verificar o comportamento de cada método para cada meso-região de risco alto e moderado, objetivando resultados descritivos para variação comportamental das queimadas, para que posteriormente possa ocorrer operacionalmente o controle e gerenciamento deste fenômeno, com comparação empírica entre os métodos.

Para estabelecer e discutir sobre a distribuição das queimadas verificando a comparação entre os métodos propostos neste trabalho para o Estado de

Minas Gerais durante este período considerado, o mais crítico durante o ano de 2003, foi realizado o seguinte cronograma: **1)** Inicialmente foram feitas análises dinâmicas e sinóticas de grande escala sobre o Estado de Minas Gerais no mês de setembro, para obter uma visão geral do escoamento da atmosfera, direção dos ventos, índices pluviométricos, sistemas sinóticos dominantes e os fenômenos atmosféricos que influenciam o tempo, o clima e o micro clima de cada região durante o mês de setembro de 2003 (Climanálise, 2003). As análises foram coletadas do banco de dados da Circulação Geral da Atmosfera (CGA), obtidas através da reanálise de dados do Modelo de Previsão Numérica de Tempo (PNT) do National Center for Environmental Prediction – NCEP, do período entre 1979 a 1995, obtendo assim as linhas de correntes médios em 850 hPa em Setembro/2003. Os ventos são analisados numa grade de 2,5 graus e interpolados para uma grade de 5 graus em Projeção Mercator para visualização (Climanálise, 2003). Estes dados originais foram gerados no Supercomputador SX-6 da NEC do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que foram obtidos através do Site oficial do NOAA (National Oceanic Atmospheric Agency) na internet, que é um serviço gratuito, no qual foram coletados para realização desta reanálise e para o cálculo das linhas de corrente que atuaram sobre a América do Sul. O site no qual obteve-se os dados foi: ([www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.derived.html](http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.derived.html)). Ressalta-se que a reanálise é feita para aumentar a confiabilidade do modelo e da previsão de tempo, isto é, foram acrescentados dados reais que não foram utilizados na primeira análise do modelo no dia vigente e, assim, aumenta-se o número de dados reais e confiáveis para que o modelo possa realizar os cálculos com maior número de dados (Lemos, 2000). **2)** Foi realizado o estudo climatológico sobre o Estado de Minas Gerais com a precipitação total e os desvios de precipitações em mm em relação à média climatológica (1961-1990), ocorrida no Estado de Minas Gerais durante este período. **3)** Foi gerada a análise da média atmosfera do Índice de Haines (Haines, 1988), através do Software GRADS utilizando o Supercomputador SX-6 no CPTEC/INPE (Centro de Previsão e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para realização das rodadas dos dados (Brian D., 1995; Lemos, 2006). Para estes dados de queimadas, foram gerados 30 mapas da análise da média atmosfera durante o mês de Setembro de 2003.

Os mapas da análise da média atmosfera são as melhores referências do Índice de Haines em estudo de curto prazo (Werth & Werth, 1998). **4)** Foram coletados dados através da Estação Meteorológica de Viçosa do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia do 5º DISME, latitude 20°45'14" sul e a uma longitude 42°52'55" oeste e altitude 689,73 m para obter os cálculos de Angström, Monte Alegre e o Hidrotermométrico através da planilha eletrônica Excel, utilizando as Fórmulas 1, 2 e 3. **5)** Foram obtidos dados totais de queimadas do satélite NOAA-12 da passagem das 12 UTC, coletadas através do DAS (Divisão de Satélites Ambientais) do INPE. Foi escolhida esta passagem do Satélite, pois se sabe que o horário de passagem do satélite NOAA-12 e 16 GMT que é entre 21:00 Z e 22:45 Z (horário de Brasília entre 18:00h e 19:45 h), e engloba os focos de calor detectados por passagens realizadas durante o final da tarde e início da noite, sendo que estes focos de calor representam as queimadas ainda ativas (Setzer, 1994). O número de focos obtidos por esta passagem representa a melhor estimativa das queimadas ocorridas no dia. Isto significa que estes focos de calor continuarão durante o período da madrugada e manhã, caso não ocorram chuvas suficientes para a extinção sobre estas áreas de incidência. **6)** Finalmente foram gerados gráficos e tabelas comparativas entre os modelos para o estudo de caso do dia 25/09/2003 e durante todo o mês em estudo para verificar o nível de convergência ou divergência entre os métodos.

No final destas etapas, tiraram-se as conclusões gerais deste estudo que poderá mostrar através de seus resultados serem uma ferramenta no auxílio, gerenciamento e desenvolvimento sustentável de uma nova fase para previsão de focos de calor para o Brasil.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análise da circulação geral da atmosfera sobre o Brasil e Minas Gerais

Na Figura 1, são mostradas as configurações dominantes nos padrões médios do mês de setembro de 2003. O Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) destaca-se pelo papel que desempenha sobre o clima do Brasil.

Em 850 hPa (aproximadamente 1500 m) houve padrão consistente com as anomalias de PNM (Pressão ao Nível do Mar). O anticiclone do Atlântico Sul basicamente inibe a formação de nuvens sobre a região que está atuando, causando subsidência, deixando a região,



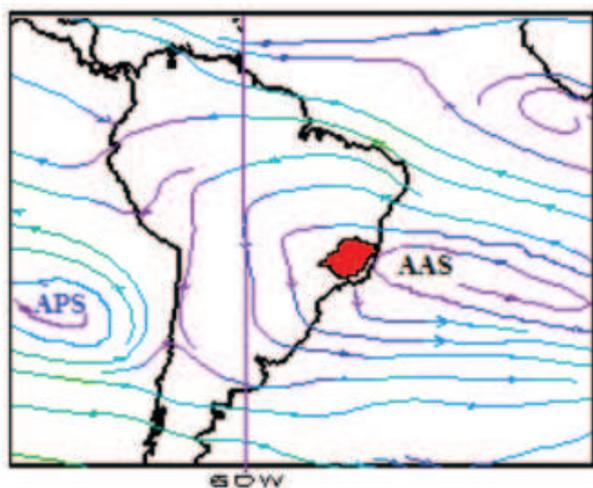


Figura 1 - Linhas de corrente médio em 850 hPa em Setembro/2003. Os ventos são analisados numa grade de 2,5 graus e interpolados para uma grade de 5 graus em Projeção Mercator para visualização.

Fonte: CPC/NCEP/NW/Climanálise-2003.

em questão, com céu claro e com poucas nuvens. Os ventos sopram do seu centro para a sua extremidade e seu centro possui pressões atmosféricas superiores às suas extremidades (Lemos, 2006).

Analisando a imagem de satélite GOES-12, na faixa visível, no dia 25/09/2006, associado ao modelo, verificou-se ser o dia mais crítico deste mês. Observa-se na imagem do satélite que um sistema frontal encontrava-se sobre o Estado de Santa Catarina e Paraná.

Observa-se que em todo o Estado de Minas Gerais havia ausência de nuvens, devido à atuação da alta subtropical do Atlântico que estava posicionado na retaguarda do sistema frontal (Figura 2).

O escoamento atmosférico médio da superfície sobre a América do Sul e Oceanos circunvizinhos mostra a presença dos Anticiclones Semi-Estacionários do Atlântico Sul e do Pacífico Sul, responsáveis, em grande parte, pelas condições de tempo sobre o Continente Sul Americano, uma vez que exercem influência destacável na penetração das massas de ar tropicais úmidas e polares. Suas posições e intensidades modificam-se ligeiramente entre os períodos de verão e o inverno.

O Anticiclone do Atlântico Sul (AAS) destaca-se pelo papel que desempenha sobre o clima do Brasil, durante estes meses (Agosto, Setembro e Outubro),

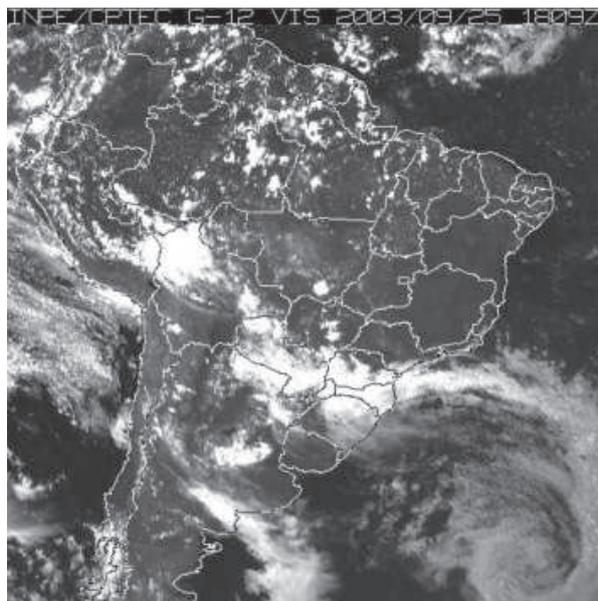


Figura 2 - Imagem de satélite GOES-12, dia 25/09/2003, canal visível, às 1809Z.

causando subsidência, deixando a região, em questão, com céu claro e com poucas nuvens (Lemos, 2000).

Durante este período, este sistema reinicia o deslocamento para leste, isto é, na direção do Atlântico, cuja periferia encontra-se sobre a região central do Brasil, favorecendo a ligeira intensificação dos ventos sobre esta região e áreas; com isto, os Índices de Haines durante este período indicam valores de moderado (5) a alto (6) em toda a periferia deste sistema, principalmente na face oeste da Alta Subtropical do Atlântico (AAS) que está atuando sobre o centro-oeste do Estado de Minas Gerais.

### 3.2. A climatologia mensal

Devido às passagens dos sistemas frontais que atuaram sobre a região, observamos que entre os dias 03 e 06/09/2003 e entre os dias 12 e 16/09/2003, sendo este sistema mais intenso, e entre os dias 28 a 30 de setembro de 2003, ocorreu uma faixa linear do índice de Haines de Baixa (4) e muito baixa (2 e 3) na Região Sudeste do Brasil e no Estado de Minas Gerais. Este sistema frontal mais intenso atingiu o Estado de São Paulo no dia 11/09/2003.

Entre os dias 12 e 16 do mês, este sistema frontal atuou sobre a Região Sudeste e sobre o Estado de Minas Gerais. Entre os dias 28 e 30 de setembro de

2003, também o modelo indicou este mesmo perfil, devido à passagem de um novo sistema frontal sobre a Região Sudeste do Brasil, inibindo o desenvolvimento de queimadas no Estado.

Na Região Sudeste, este mês de setembro é de transição entre a estação seca e a chuvosa e foi marcado por chuvas predominantemente abaixo da média histórica, principalmente no sul de Minas Gerais, leste do Triângulo Mineiro e grande parte da região central do Estado (Figura 3) (Climanálise, 2003).

Verificamos que a precipitação total em todo o Estado ficou abaixo de 25 mm em quase todo o Estado durante o mês. Somente na região oeste do Triângulo Mineiro e na região Oeste de Minas, os valores médios ficaram entre 50 e 100 mm/mês, devido a passagens dos sistemas frontais (Figura 3).

Outro detalhe importante, que não poderia descrever, é que no mês de setembro ocorre o desfolhamento da plantas e por sua vez a climatologia da precipitação é também reduzida, onde ocorrem maiores queimadas no Brasil.

A maior parte das queimadas e incêndios florestais é detectada nos períodos de estiagem e baixa umidade relativa, pois o mês de setembro, climatologicamente descrito, é considerado o mês mais quente do ano no Brasil, devido ao baixo índice de umidade do ar (Lemos, 2000).

Porém, como sua ignição depende na maioria dos casos de intervenção humana, padrões locais de uso do solo, de transformação da vegetação e de tecnologias agrícolas, estes devem necessariamente ser incorporados em modelos de potencial de ocorrência de queimadas e incêndios intencionais, inclusive em períodos chuvosos (Setzer, 1992).

Os desvios em relação aos valores médios históricos registraram valores acima da média climatológica no oeste do Triângulo Mineiro, extremo leste da Zona da Mata e no Norte de Minas Gerais (Climanálise/2003). Nas demais áreas registraram valores com desvios variando entre -20 e -25 mm.

Ressalta-se que nas regiões de valores inferiores a -25 mm, o modelo indicou áreas de moderados (5) e altos índices (6) de Haines, isto é, valores de grande potencial de risco de queimadas e possibilidade dos incêndios tornarem incontrolláveis (Figura 4).

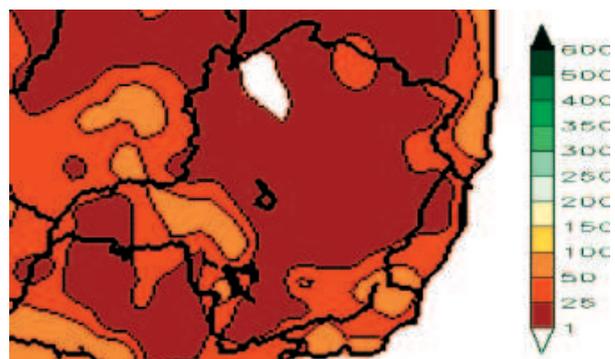


Figura 3 - Precipitação total em mm para setembro/2003  
Fonte: Climanályse, 2003.

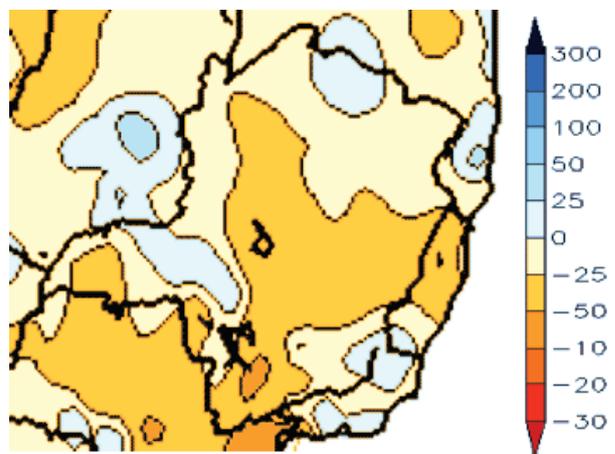


Figura 4 - Desvios de precipitação em mm em relação à média climatológica (1961-1990) para Setembro/2003.  
Fonte: Climanályse, 2003.

Apesar da entrada dos seis sistemas frontais na Região Sudeste, as chuvas ocorreram abaixo da média histórica. Os sistemas frontais ocorreram dentro da normalidade para o mês de setembro de 2003. Foram três frentes frias que atuaram com mais intensidade no Estado de Minas Gerais, entre os dias 03 e 06/09/2003, sendo este sistema mais intenso entre os dias 12 e 16/09/2003, e nos dias 26 a 30/09/2003.

As bacias hidrológicas continuaram apresentando baixos valores de precipitação. Verificamos que as Vazões em m<sup>3</sup>/s e desvios em relação à MLT (valores Médios de Longo Termo), expressos em porcentagem em Setembro/2003 de Três Marias, foram de 141,0 m<sup>3</sup>/s com desvio de -35,3%, em Emborcação de 159,00 m<sup>3</sup>/s com desvio de -1,9%, em Itumbiara-GO de 433,0 m<sup>3</sup>/s com desvio de -16,6%



e em São Simão-MG de 898,0 m<sup>3</sup>/s com desvio positivo de 5,9% (Climanálise/2003).

### 3.3. As queimadas

As queimadas no Brasil totalizaram 57.262 focos durante o mês de setembro de 2003 (Figura 5A). No Estado de Minas Gerais registraram-se 4.546 focos de

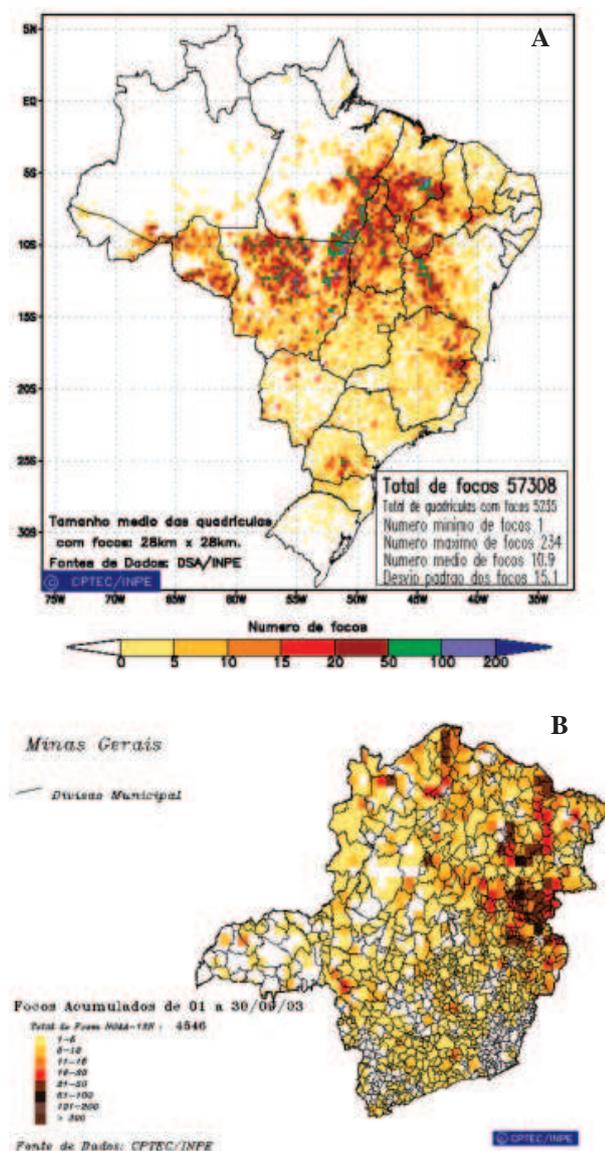


Figura 5 - Distribuição espacial de densidades de queimadas em unidades de grade no Brasil (A) e no Estado de Minas Gerais (B) em Setembro de 2003. Focos de calor detectados através do satélite NOAA 12 às 21:00 TMG.

queimadas, representando 7,94% do total de queimadas no Brasil. Observa-se que na região do Rio Doce, Mucuri, Jequitinhonha e no norte de Minas, onde ocorreram as maiores concentrações de queimadas, a incidência ocorreu durante o período de 24 a 29 deste mês (Tabela 1, Figura 6, Figura 5B).

O dia de menor ocorrência de queimadas foi o dia 02/09/2003, com 13 focos em todo o Estado e o dia 13/09/2003 ocorreu a maior incidência, com 161 focos, durante a primeira quinzena do mês, totalizando 1.021 queimadas em todo o Estado. A média de queimadas por dia no Estado foi de 149 focos (Tabela 1). O modelo indicou neste período, sobre estas áreas, altos Índices de Haines (IH) (6) e propagação de queimadas.

Houve um decréscimo de apenas 6% em relação ao mesmo período do ano de 2002. Ao contrário de 2002, as Regiões Nordeste, Sul e Sudeste registraram aumento significativo das queimadas em função da estiagem e das altas temperaturas do ar (Climanálise, 2002).

### 3.4. A distribuição espacial do Índice de Haines sobre o Estado de Minas Gerais em setembro de 2003 da média atmosfera

Analisando a distribuição do índice de Haines sobre o Estado de Minas Gerais, (Figuras 7 e 8) verificou-se que a evolução espacial do Índice de Haines acompanhou o desenvolvimento das queimadas em

Tabela 1 - Distribuição de queimadas no Estado de Minas Gerais em Setembro de 2003. Fonte DAS/INPE/NOAA-12 e 16

Dia	Nº Queimadas	Dia	Nº Queimadas
1	17	16	84
2	13	17	61
3	50	18	130
4	75	19	77
5	76	20	12
6	32	21	63
7	76	22	429
8	32	23	224
9	30	24	867
10	127	25	920
11	34	26	155
12	46	27	329
13	161	28	60
14	38	29	13
15	214	30	13

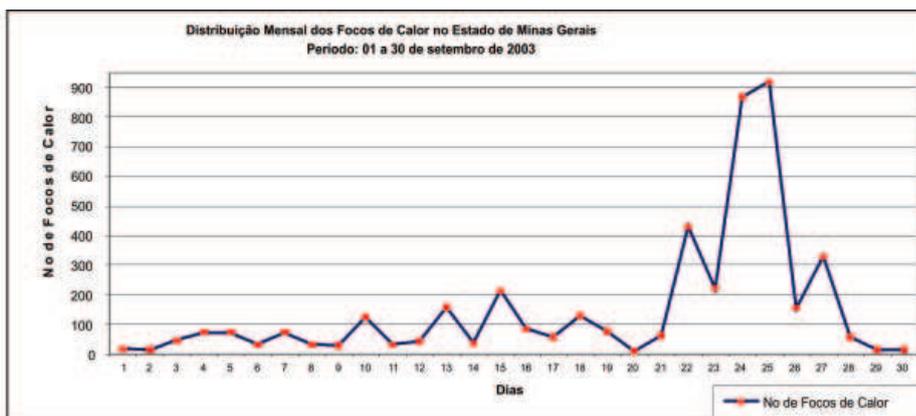


Figura 6 - Distribuição mensal dos focos de calor no Estado de Minas Gerais. Período entre 01 a 30 de setembro de 2003.

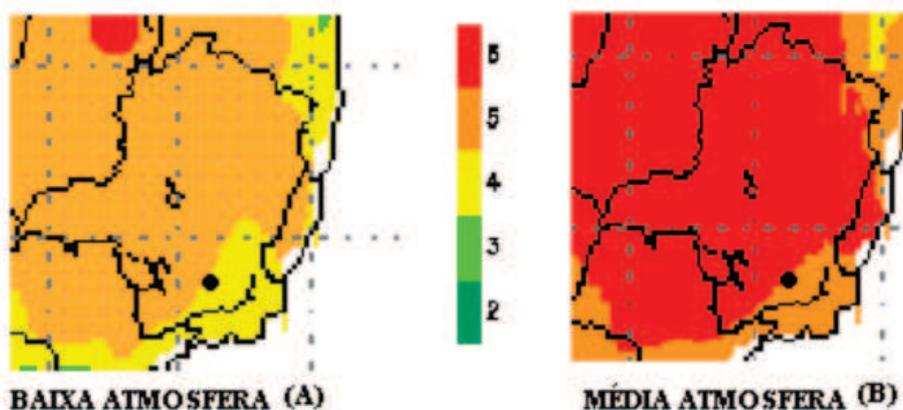


Figura 7 - Índice de Haines para baixa (A) e média atmosfera (B) do dia 25/09/2003, para todo o Estado de Minas Gerais, sendo que o ponto indicativo representa a região de Viçosa - MG.

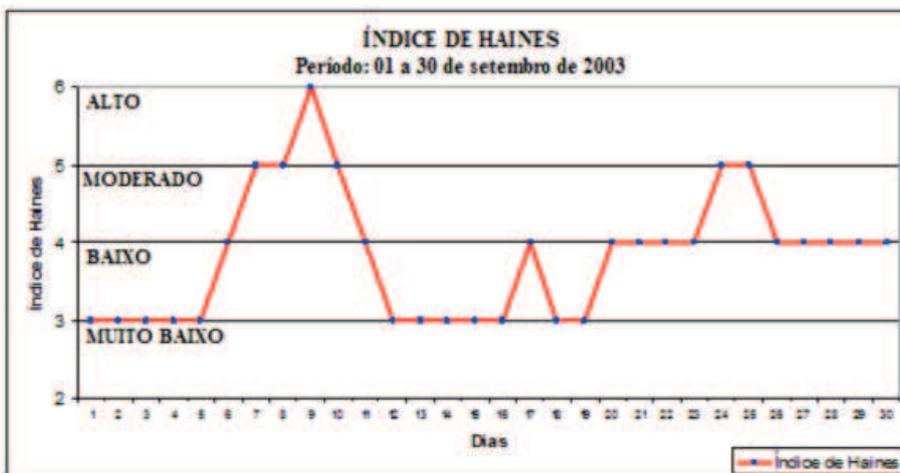


Figura 8 - Oscilação mensal combinado do Índice de Haines. Período de 01 a 30 de setembro de 2003.



todo o Estado (Tabela 1, Figura 6).

Na primeira quinzena, o modelo indicou áreas de alto risco no extremo oeste do Triângulo Mineiro, região central do Estado, centro leste e norte do Estado e somente no dia 09/09/2003 o modelo indicou na região do Sul de Minas. Durante este período ocorreu a presença dois sistemas frontais sobre o Estado, entre os dias 12 e 16/09, que foi indicado pelo modelo registrando áreas de muito baixo (2 e 3) e baixo (4) Índice de Haines (Figura 8).

### 3.5. Método não cumulativo do cálculo do Índice de Haines (IH)

T é a temperatura das duas superfícies de pressão ( $p_1$ ,  $p_2$ );  $T_p$  são as temperaturas e  $T_{dp}$  as temperaturas de ponto de orvalho a cada nível.

São envolvidos dois passos para calcular o índice IH. Primeiro, seleciona-se a própria variante de índice baseado em elevação de superfície, onde  $A = (T_{p1} - T_{p2})$  e  $B = (T_p - T_{dp})$ ;  $A + B = IH$

Há três categorias de acordo com a altitude.

i) Baixa Atmosfera ( $\leq 500$  m). A é computado por:

$A = T_p$  (°C) em 950 hPa –  $T$  (°C) em 850 hPa. Os valores de fator do Índice de Estabilidade são:

1 → 3° C ou menos

2 → 4° a 7° C

3 → 8° C ou mais

B é calculado por:

$B = T_p$  (°C) em 850 hPa –  $T_{dp}$  (°C) em 850 hPa.

Os valores de fator da Depressão Psicrométrica são:

1 → 5° C ou menos

2 → 6 a 9° C

3 → 10° C ou mais

ii) Média Atmosfera (500m ~ 1500m). A é computado por:

$A = T_p$  (°C) em 850 hPa –  $T$  (°C) em 700 hPa. Os valores de fator do Índice de Estabilidade são:

1 → 5° C ou menos

2 → 6° a 10° C

3 → 11° C ou mais

B é calculado por:

$B = T_p$  (°C) em 850 hPa –  $T_{dp}$  (°C) em 850 hPa.

Os valores do fator da Depressão Psicrométrica são:

1 → 5° C ou menos

2 → 6° a 12° C

3 → 13° C ou mais

### 3.6. Método não cumulativo do Fator de Risco de Angström - FRA

Baseiam-se somente nas condições do tempo vigente no dia. Obtidos pela umidade relativa e temperatura das 13 horas local. Usa-se a fórmula 1, baseado na Figura 9.

$$FRA = 0,05 \times UR\% 13h - 0,1 \times (T13h - 27)$$

Sempre que  $FRA < 2,5$  é dado o alerta

### 3.7. Método cumulativo da Fórmula de Monte Alegre – FMA, utilizado no Brasil

Este método utiliza dados cumulativos do dia anterior multiplicado pelo fator f, somado com 1 centésima parte da Umidade Relativa (UR) das 13 horas local (Fórmula 2, Tabela 2).

$$FMAHoje = (f * FMAAcum-Ontem) + (100/UR\% 13h)$$

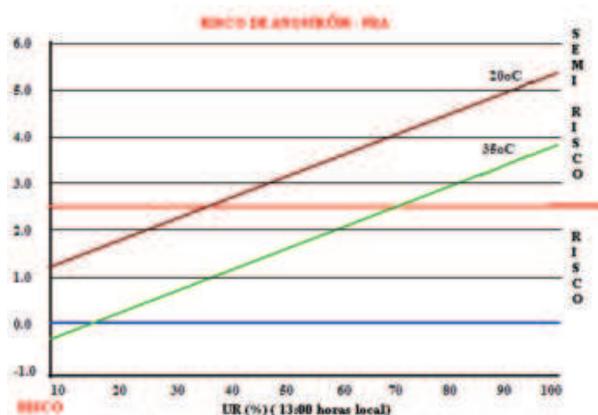


Figura 9 - Gráfico do Fator de Risco de Angström, semi-risco e risco.

Tabela 2 - Tabela de Monte Alegre

FMA hoje	f	Grau de risco
$\leq 1,0$	1,0	Nulo
1,1 a 3,0	0,7	Pequeno
3,1 a 8,0	0,4	Médio
8,1 a 20,0	0,2	Alto
$> 20,0$	0,0	Muito Alto

Se *f* varia entre 0 e 1 de acordo com os valores de chuva (Tabela 2), o grau do risco pode ser entre muito alto a nulo (Figura 10).

**3.8. Método cumulativo do Índice Hidrotermométrico - D**

Este método utiliza a Temperatura média (Tm) e Umidade Relativa média (URm) do dia. Assim o cumulativo do dia será (I):

$$I = (0,6 * Tm - 0,3 * URm) - 30$$

D é o somatório do n I diários,  $D = \sum_{i=1}^n I$ ; quando  $I <= 0$  zera o acúmulo de D:

O grau de risco pode ser de acordo com a Tabela 3.

**4. DISCUSSÃO**

Foi escolhido o dia 25/09/2003 para verificar se neste dia os índices indicariam e teriam uma convergência ou divergência de resultados dos riscos de queimadas, pois este dia foi considerado o dia mais crítico deste mês no Estado de Minas Gerais e para região do Município de Viçosa-MG.

Também foi estudado cada índice separadamente durante todo o mês. Estes índices possuem operacionalmente suas particularidades dependendo de ser testado e provado em séries longas sazonal e mensal de acordo com padrões estabelecidos de correlação. A proposta deste trabalho é demonstrar que cada índice tem suas particularidades na obtenção dos dados e assim propõe-se a criação de um vigamento

geral de prova de cada índice e o desenvolvimento de um banco de dados uniforme para usar em tal propósito. Isto não resolveria a validação de cada índice, mas indicaria qual seria o melhor método para ser usado no Brasil.

Assim, o resultado final para o dia 25/09/2003 do Índice de Haines foi: para baixa atmosfera para o Estado de Minas Gerais e na região de Viçosa o modelo indicou baixo índice (4) de propagação de queimadas IH (4). Para o médio nível o modelo indicou moderado índice (5) de propagação do IH. A combinação entre os dois níveis foi estabelecida ser de moderado risco (5) de propagação de queimadas pelo índice de Haines (Figuras 7 e 8).

O resultado do Fator de Risco de Angström – FR do dia 25/09/2003 para a região de Viçosa foi:  $FRA = 0,05 \times (83) - 0,1 \times (22,8 - 27,0) = 4,57$ . O Resultado final de acordo com a Tabela 4 é que haverá semi-risco para este dia.

O resultado diário dos cálculos do FRA variou entre 4,47 a 5,29, sendo que estes valores permaneceram no patamar de semi-risco durante todo o período,

Tabela 3 - Grau de risco

D	Grau de risco
< 7	Nulo
7 a 51	Moderado
51 a 99	Alto
> 99	Extremo

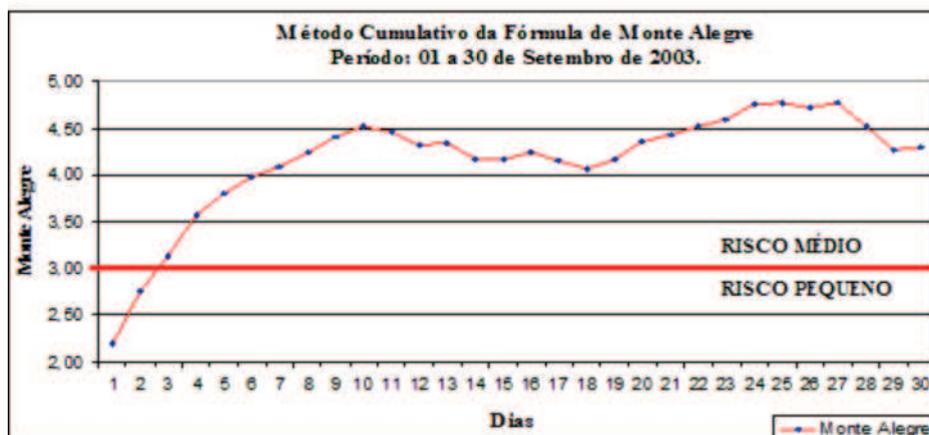


Figura 10 - Oscilação mensal do método cumulativo de Monte Alegre. Período de 01 a 30 de setembro de 2003.



conforme gráfico do Fator de Risco de Angström (Figura 11). Na Fórmula de Monte Alegre – FMA, o índice pluviométrico dos dias 24 e 25/09/2003 foi 0,0 mm e a umidade relativa foi de 71% em ambos os dias. Assim, o cálculo da FMA Hoje =  $(0,0 * 0,0) + (100/71) = 4,78$  (Médio Grau de Risco) de acordo com a Tabela 5.

No Índice Hidrotermométrico (D), o cálculo foi de  $-36,16$ , sendo acumulado com valores acumulados inferiores a 0 ( zero); assim, em todo o mês o índice permaneceu com Grau de Risco Nulo (Tabela 6, Figura 12).

Verificou-se que na segunda quinzena os índices tenderam a uma oscilação positiva, porém os valores ficaram bem abaixo do valor moderado (Figura 12).

Tabela 4 - Fator de risco de Angström diário do mês de setembro

Dia	FRA Angström	Dia	FRA Angström
1	4,89	16	5,07
2	4,97	17	5,09
3	5,29	18	5,19
4	5,19	19	5,07
5	5,41	20	4,81
6	5,17	21	4,71
7	5,09	22	4,87
8	5,15	23	4,81
9	4,87	24	4,59
10	4,93	25	4,57
11	4,63	26	4,75
12	5,33	27	4,47
13	4,77	28	4,95
14	5,13	29	4,99
15	5,03	30	4,87

#### 4.1. A Comparação entre os métodos no dia 25 de setembro de 2003

Comparando os quatro métodos no dia 25/09/2003, verificou-se que para a região de Viçosa-MG em todos os métodos o grau de risco de propagação de queimadas ficou no patamar de risco baixo a moderado (Semi-risco), não ocorrendo divergência entre os quatro métodos (Tabela 7).

#### 4.2. A Comparação entre os métodos do mês de setembro de 2003

1) O Índice de Haines (IH) indicou nos dias 07, 08, 24 e 25 deste mês valores de moderados riscos de propagação de queimadas (5 IH). Somente no dia 09 o modelo indicou alto risco de propagação (6 IH). Nos demais dias os índices permaneceram nos níveis de baixo e muito baixo risco de propagação (2 e 3 IH).

2) O Fator de Risco de Angström (FRA) indicou valores de semi-risco acima de 2,5 durante todo o período. Somente nos dias 11 e 27 ocorreu confluência para o nível de risco de propagação.

3) A Fórmula de Monte Alegre (FMA) indicou valores entre os dias 03 e 30 do mês no patamar de Risco médio. No dia 10 e entre os dias 23 e 28 a fórmula de Monte Alegre indicou valores acima de 4,50, ocorrendo uma tendência para alto risco.

4) O Índice Hidrotermométrico (D) indicou valores que oscilaram entre  $-45,08$  no dia 03/09/2003 e valores de  $-36,16$  no dia 25/09/2003, no qual durante estes dias

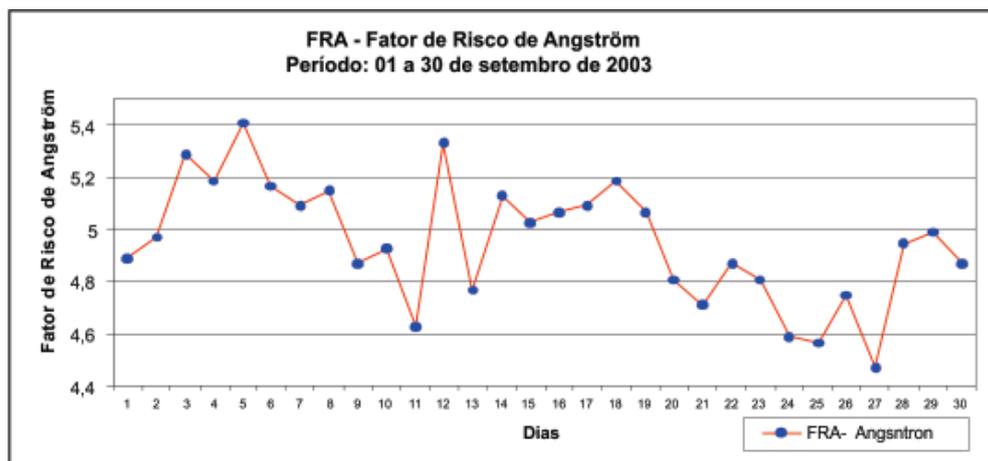


Figura 11 - Oscilação mensal do Fator de Risco de Angström – FRA. Período de 01 a 30 de setembro de 2003.

Tabela 5 - Fator de risco de Monte Alegre diário do mês de setembro

Dia	Monte Alegre-FMA	Dia	Monte Alegre-FMA
1	2,20	16	4,24
2	2,76	17	4,16
3	3,13	18	4,07
4	3,58	19	4,17
5	3,80	20	4,35
6	3,98	21	4,43
7	4,10	22	4,52
8	4,24	23	4,59
9	4,41	24	4,76
10	4,52	25	4,78
11	4,46	26	4,72
12	4,32	27	4,77
13	4,35	28	4,52
14	4,17	29	4,27
15	4,17	30	4,29

Tabela 6 - Índice Hidrotermométrico (D) diário do mês de setembro

Dia	Hidrotermométrico	Dia	Hidrotermométrico
1	-41,09	16	-40,79
2	-43,30	17	-44,31
3	-45,08	18	-45,41
4	-41,04	19	-41,12
5	-43,41	20	-39,03
6	-42,79	21	-39,56
7	-43,08	22	-39,65
8	-41,27	23	-39,43
9	-39,39	24	-36,20
10	-39,41	25	-36,16
11	-41,33	26	-38,55
12	-45,05	27	-36,25
13	-40,23	28	-43,13
14	-46,08	29	-45,05
15	-43,11	30	-40,73

ocorreu uma tendência para moderado risco. Durante todo o mês os valores permaneceram no nível de risco nulo.

Assim, verificamos que o dia 25/09/2003 realmente foi o dia mais crítico deste mês, e os modelos do índice de Haines (IH), Monte Alegre (FMA) e Angström (FRA) convergiram em seus cálculos. Somente o modelo do Índice Hidrotermométrico divergiu em relação aos outros modelos.

Apesar de que cada método possui suas particularidades próprias de cálculos e desenvolvimentos, sendo cumulativos, não podem ser comparados com os não cumulativos (Risco de Angström).

### 5. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi demonstrar que existem vários métodos com o mesmo objetivo, porém seria necessário um período maior para verificar a validade

Tabela 7 - Comparação entre os métodos do Índice de Haines, Angström, Monte Alegre e Hidrotermométrico no dia 25/09/2003

Índice de Haines – IH (não cumulativo)	Baixa atmosfera: baixo risco Média atmosfera: moderado risco
Fator de Risco de Angström FRA (não cumulativo)	Semi-risco
Fórmula de Monte Alegre FMA(cumulativo)	Pequeno risco
Índice Hidrotermométrico D (cumulativo)	Grau de risco nulo

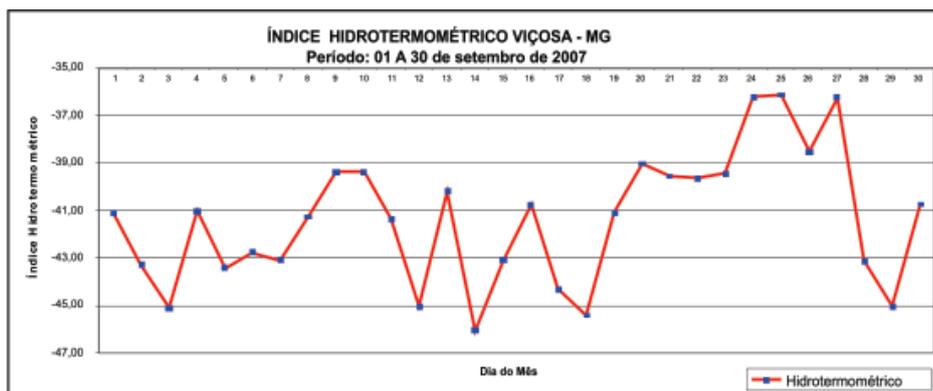


Figura 12 - Oscilação Mensal do Índice Hidrotermométrico – D. Período de 01 a 30 de setembro de 2003.



de cada método aqui proposto, procurando verificar o coeficiente de variação para cada método, associada à correlação entre eles comparando estes métodos em um período sazonal ou mensal (Tabela 6).

## 6. LITERATURA CITADA

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; SILVA, E. et al. **Uso do fogo na Amazônia: Estudos de caso ao longo do arco de desmatamento**. Brasília: World Bank Report, March, 1997.

CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento de tempo e clima**. INPE/CPTEC - periódicos entre maio a novembro, seção queimadas, seção climatologia, 2003 e 2003.

CRUTZEN, P.J.; ANDRAEA, M.O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, v.250, p.1669-1678, 1990.

CRUZ, F.W.; BURNS, S.J.; KARMANN, I. Insulation-driven changes in atmospheric circulation over the past 116,000 years in subtropical Brazil. *Nature*, v.434, p.63-66, 2005. doi: 10.1038/nature03365.

DIAZ, M.C.V. et al. **Perdas econômicas do fogo na Amazônia Brasileira**. IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, WHRC – Woods Hole Research Center, 2002.

FERRAZ-VICENTINI, K.R. **História do Fogo no Cerrado: uma análise palinológica**. Ph.D. Thesis. Universidade de Brasília. 1999.

HAINES, D.A. A lower atmospheric severity index for wildland fires. *National Weather Digest*, v.13, p.23-27, 1988.

HAINES, D.A.; FROST, J.S. Fire-weather stations – Maintaining accuracy. *Fire Management Notes*, v.47, n.4, p.16-19, 1987.

HAINES, D.A.; WERTH J. Haines Index climatology for the Western USA. *Western Region Technical Attachment*, n.97, June 3, 1997. 17p.

HOMMA, A.K.; WALKER, R.T.; SCATENA, F.N. et al. A dinâmica dos desmatamentos e das queimadas na Amazônia: Uma análise microeconômica. *Anais... XXXI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, v.1, p.663-676, 1993.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, 1993.

JUSTINO, F. **The influence of boundary conditions on the Last Glacial Maximum**. Shaker Verlag, 2004. 127p.

KIRCHOFF, V. **SCAR-B proceedings**. São José dos Campos: Transec Editorial, INPE, 1997. 208p.

LEMOS, C.F. **O Índice de Haines com indicador de desenvolvimento de focos de calor no Brasil através do modelo Regional “Eta”**. Tese de Doutorado em Geoquímica Ambiental – Universidade Federal Fluminense/UFF – Departamento de Química, 2006.

LEMOS, C.F. **Caracterização e variabilidade climática do Vale do Paraíba-SP**. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais – Universidade de Taubaté/UNITAU – Departamento de Agronomia, 2000.

LEMOS, C.F.; JUSTINO, F.B.; COSTA, L.C. et al. Distribuição espacial do índice de Haines para Minas Gerais por análise da média atmosfera. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.2, n.1, p.132-143, 2012.

ROSENFELD, D. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophysical Research Letters*, v.26, p.3105-3108, 1999.

SETZER, A.W.; PEREIRA, M.C.; PEREIRA JR, A.C. Satellite studies of biomass burning in Amazonia some practical aspects. *Remote Sensing Reviews*, v.10, p.91-103, 1994.

WERTH, J.; WERTH, P. Haines Index climatology for the western United States. *Fire Management Notes*, v.58, p.8-17, 1998.

Recebido para publicação em 01/10/2012 e aprovado em 04/12/2012.

