

## APLICAÇÃO DO TESTE SAZONAL DE MANN KENDALL NA ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR – GOIÂNIA-GO: SÉRIE HISTÓRICA 1961 A 2008

Gislaine Cristina Luiz  
Universidade Federal de Goiás/IESA  
gislaine@iesa.ufg.br

Heitor Carrilha Cardoso  
Universidade Federal de Goiás/IESA  
heitorcarrilha1@gmail.com

Lucas Lopes Ribeiro  
Universidade Federal de Goiás/IESA  
lucaslopesribeiro1@gmail.com

### CLIMATOLOGIA: APORTES TEÓRICOS, METODOLÓGICOS E TÉCNICOS.

#### Resumo

No inverno, a característica climática de Goiânia está relacionada às condições sinóticas e, nesse período, corresponde principalmente à influência do centro de Ação do Anticiclone do Atlântico Sul, individualizado enquanto massa de ar Tropical Atlântica (Ta). Esse sistema atmosférico confere estabilidade atmosférica, dia ensolarado e ausência de precipitação. A insolação atinge seus valores máximos, em torno de 270 horas no mês (CAMPOS, *et al.*, 2003). Isso implica considerar, que Goiânia apresenta temperaturas elevadas durante esse período acompanhada de situação de baixa umidade relativa do ar. Contudo, as atividades da sociedade têm acarretado modificação no comportamento dos atributos do clima, principalmente em relação à temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Já que as condições atmosféricas decorrentes da atuação dos sistemas atmosféricos na América do Sul, associado às características físico-geográfica, destaca-se aqui o efeito continentalidade, são fatores do clima que propícia para a região de Goiânia elevadas de temperatura e baixa umidade do ar. Mediante destituição da cobertura vegetal, crescimento da cidade, impermeabilização das superfícies, tráfego de veículos automotores, dentre outros, o que naturalmente representa condição climática de tempo quente e seco, mediante a intervenção humana observa-se o aumento da temperatura e a diminuição da umidade relativa do ar. Assim, o presente trabalho apresenta análise de hipóteses de tendência climática, de forma a contribuir para o entendimento das tendências indicadas para os parâmetros do clima temperatura e umidade relativa do ar, para a cidade de Goiânia-GO. Foi contemplado série histórica de 48 anos, utilizando dados da Estação Climatológica principal de Goiânia, vinculada à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 10º Distrito de Meteorologia Goiás, Tocantins (10º DISME), situada em 16°40'S e 49°15'W e em 741,48 m de altitude, relativos ao período de 1961 a 2008. Os testes de hipóteses aplicados foram a análise de regressão linear simples e o teste não paramétrico Mann-Kendall Sazonal (SMK), de acordo com Hirsch *et al.* (1982). Os resultados apontam para os últimos 48 anos, tendência positiva para a série temperatura do ar, entre 0,8 a 2,4 °C de aumento da temperatura do ar (máxima e mínima) e, tendência negativa para a série umidade relativa do ar, indicando possibilidade de diminuição de 6,9%.

#### ABSTRACT

In winter, the characteristic climate of Goiânia is related to synoptic conditions and in this period corresponds mainly to the influence of the central action of the South Atlantic Anticyclone, individualized air mass while Tropical Atlantic (Ta). This system provides atmospheric stability, sunny day and no precipitation. Heatstroke reaches its maximum, around 270 hours in the month (CAMPOS, *et al.*, 2003). This implies that, with temperatures that Goiânia In winter, the characteristic climate of Goiânia is related to synoptic conditions and in this period mainly

corresponds to the Influence of the central action of the South Atlantic Anticyclone, individualized air mass while Tropical Atlantic (Ta). This system provides atmospheric stability, sunny day and no precipitation. Heatstroke reaches its maximum, around 270 hours in the month (CAMPOS, et al., 2003). This implies that, Goiânia that shows temperatures during this time accompanied by the situation of low relative humidity. However, the activities of society have brought about change in the behavior of climate, particularly in relation to air temperature and relative humidity. Since the conditions offered by the action of atmospheric systems operating in South America, the physico-geographical, stands out here continentality effect, Goiânia is naturally conducive to elevated temperature and low humidity. Upon removal of vegetation, growth of the city, sealing surfaces, vehicle traffic automores, among others, of course which represents climatic condition of hot, dry weather through human intervention there is an power increase in temperature and relative humidity decrease in the air. Thus, this paper presents analysis hipótes weather trend, in order to contribute to the understanding of the trends indicated for the parameters of the climate and temperature of the air relative humidity, to the city of Goiânia-GO. It was contemplated series of 48 years, using data from climatological station main Goiânia, linked to the network of the National Institute of Meteorology (INMET), 10th District of Meteorology Goiás, Tocantins (10th DISME), located at 16 ° 40'S and 49 ° 15 'W and 741.48 m above sea level for the period 1961 to 2008. The tests of hypotheses were applied simple linear regression analysis and nonparametric Mann-Kendall Seasonal according to Hirsch *et al.* (1982). The results show forthe the last 48 years, a positive trend towards air temperature range, between 0.8 to 2.4 °C in air power increase temperature (maximum and minimum) and negative trend series for relative humidity, indicating a possible decrease of 6,9%.

## 1 - OBJETIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente artigo tem por objetivo apresentar as variações e possíveis tendências dos atributos climáticos temperatura do ar e umidade relativa do ar para a cidade de Goiânia, considerando para tanto os fatores do clima como sistemas atmosféricos, aspectos físico-geográficos e ação antrópica. O município de Goiânia, apresenta extensão territorial de 739,492 km<sup>2</sup>. Localiza-se entre as coordenadas planas E: 662.000 e 760.000 m e N: 8.141.000 e 8.179.000 m, situadas no Meridiano Central -51° W Gr., no Hemisfério Sul (Figura 1). O Censo Demográfico identificou em 2010 uma população para o Município de Goiânia de 1.318,148 de habitantes (IBGE, 2011).

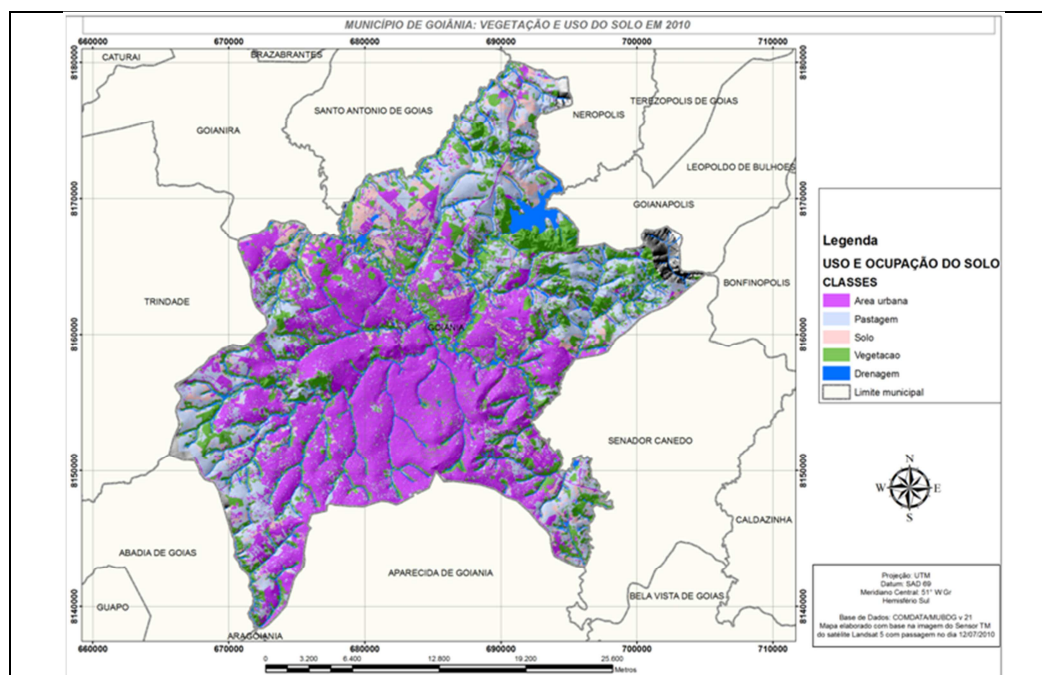


Figura 1 – Localização Município de Goiânia e diferenciapão da cobertura dos solo/2010.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Dinâmica atmosféricas e característica do clima de Goiânia-GO

A compreensão dos sistemas atmosféricos atuantes em Goiânia pode ser realizada por meio da análise dos sistemas atuantes na América do Sul. A influência desses sistemas ocorrem com menor ou maior intensidade em função da localização intracontinental do Município de Goiânia, do local de origem e da trajetória de cada um até o interior do país. A região Centro-Oeste, portanto, a região de Goiânia recebe influência dos centros de ação positivos de alta pressão Anticiclone do Atlântico Sul e do sistema Anticiclone Migratório Polar. O primeiro, avança para o interior do continente, enquanto massa de ar Tropical Atlântica (Ta) e define a condição de estabilidade atmosférica, determinando o período de estiagem na região Centro-Oeste. O segundo, o Anticiclone Migratório Polar, atinge a região como massa de ar de origem de Frente Polar (FP). A influência desse sistema ocorre através da massa de ar Polar Atlântica (Pa), responsável pelos mecanismos frontológicos e pela redução da temperatura, de acordo com Monteiro (1951). Já os centros de ação negativos, sistemas ciclônicos, são formados nas regiões de baixa pressão no interior do continente, na Depressão Amazônica e Depressão do Chaco. Ambos são de origem térmica devido ao aquecimento do continente, representados, respectivamente, pelas massas de ar Equatorial Continental (Ec) e Tropical Continental (Tc).

O primeiro, Depressão Amazônica, atraído pelos sistemas térmicos e dinâmicos do interior do continente, avança de noroeste (NW) para sudeste ou para leste/sudeste (SE/ESE), configurando um corredor de umidade no sentido longitudinal, do norte do país até a região sudeste. Essa configuração tem início na primavera e persiste durante o verão (Monteiro, 1968). O segundo sistema, massa de ar Tropical Continental (Tc), é resultado do forte aquecimento do interior do continente, especificamente

sobre a área plana de baixa latitude, localizada na região do Chaco Paraguai (Baixa do Chaco), e intensifica-se no verão, conforme Nimer (1989). Esse sistema apresenta-se como uma massa de ar quente e seca, mas, segundo Vianello & Maia (1986), caso esteja suprida de vapor de umidade, pode provocar elevados índices pluviométricos.

Durante a primavera e o verão, atua, ainda, sobre a região Centro-Oeste, o Sistema Atmosférico Alta da Bolívia (AB). Esse sistema apresenta características de circulação anticiclônica de grande escala na troposfera superior e está associado a uma intensa liberação de calor latente. De acordo com Virji (1981), Gandu & Silva Dias (1994) e Evangelista (2004), como está conexo a um movimento anti-horário em altos níveis da atmosfera, o Sistema Atmosférico transporta umidade, o que contribui para reforçar as chuvas na região.

No verão, na região Centro-Oeste, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) tem marcante influência no comportamento das chuvas no Brasil. Esse sistema atmosférico é evidenciado a partir de uma faixa de nebulosidade que é formada na América do Sul, tendo a sua orientação de noroeste para sudeste (NW/SE). Sua origem é devida à junção da Zona de Convergência Intertropical (ZCTI), da Alta da Bolívia (AB) e de sistemas frontais oriundos das regiões subtropicais (Pa). A conexão desses sistemas gera uma elevada atividade convectiva que se instala durante o verão sobre o interior do continente e, conseqüentemente, sobre a região Centro-Oeste. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e conforme apontam Vianello (1991) e Quadro (1994), é um dos principais fenômenos atmosféricos que determinam o período das chuvas na região Centro-Oeste.

Casseti (1993), a partir da direção e velocidade dos ventos em Goiânia, confirma a participação dos sistemas atuantes na região Centro-Oeste. De maio a outubro, predominam os ventos de leste (E) e sudeste (SE), justificando a atuação da massa de ar Tropical Atlântica (Ta) e confirmando o que Monteiro (1951) e Nimer (1989) consideram acerca da estabilidade atmosférica. Para o período de outubro a março, Casseti (1993) observou uma predominância dos fluxos de ventos de NW e N. Essa condição caracteriza as incursões dos sistemas perturbadores oriundos da região norte do país, a partir da ZCIT e da massa de ar Equatorial Continental (Ec), que, associados à formação da ZCAS e ao sistema AB, determinam o comportamento das chuvas em Goiânia.

Mediante o exposto, o clima de Goiânia apresenta, como característica, duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. Considerando a atuação sazonal dos sistemas atmosféricos, a Tabela 1 apresenta a relação entre a atuação de cada sistema, a origem e o período de influência em Goiânia. De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental realizado pela DBO ENGENHARIA LTDA (2004), a concentração das chuvas na cidade ocorre no período de outubro a março e responde por 83% a 88% dos totais anuais pluviométricos. Os maiores índices acontecem entre dezembro e março, com precipitação média mensal acima de 250 mm. A estação seca compreende os meses entre abril e setembro. A precipitação média dos meses menos chuvosos, de junho a agosto, é inferior a 10 mm. As temperaturas mais elevadas são observadas em setembro, outubro e novembro, com médias entre 29 e

31°C.

Tabela 1 – Principais sistemas atmosféricos atuantes na região de Goiânia e seus efeitos nas características do clima.

Sistema Atmosférico	Origem	Período/ano	Efeitos
mTa	SE/E	Ano todo	Estabilidade atmosférica, estiagem no outono e no inverno.
mTc	NW	Verão	Elevação da temperatura; ocorrência dos veranicos.
mEc	NW/N	Primavera e Verão	Instabilidade atmosférica; Precipitação convectiva.
mPa	SE/E	Inverno e Primavera	Diminuição da temperatura; precipitação frontal.
ZCAS	NW/SE	Verão	Intensificação das chuvas: convectiva e frontal.

Fonte: LUIZ, 2012.

Os meses mais frios correspondem a junho e julho, com médias entre 13 e 18°C. Esses índices retratam a elevada amplitude térmica observada durante esses meses em Goiânia, podendo atingir valores superiores a 10°C. No período de inverno, ocorrem os menores valores de umidade relativa do ar, quando os índices, segundo IBGE (1999), atingem valores inferiores a 20%. Os baixos índices de umidade relativa do ar estendem-se até a primavera, quando, no retorno do período chuvoso, a condição de umidade melhora. Segundo Campos *et al.* (2003), os meses de julho, agosto e setembro correspondem ao período de maior taxa de evaporação, respectivamente 173, 202 e 192 mm, conforme dados da Estação Meteorológica do 10° DISME (INMET) para as Normais Climatológicas de 1961-1990.

Os estudos realizados por Caseti (1991), Fonzar (1997), DBO Engenharia Ltda (2004), Campos (2003) e Luiz *et al.* (2006) atribuem à intensificação do processo de urbanização as modificações dos elementos climáticos temperatura e umidade relativa do ar. Caseti (1986), ao estudar o centro urbano e a periferia da cidade de Goiânia, encontrou variações de até 4°C nos valores de temperatura do ar e de até 20% na umidade relativa do ar. Os valores mais elevados da temperatura do ar correspondem aos índices mais baixos da umidade do ar e encontram-se situados na região central do sítio urbano de Goiânia. Levantamento realizado por Fonzar (1997), a partir das Normais Climatológicas de 1931-1960 e de 1961-1990, indicou aumento na taxa de evaporação, respectivamente, de 1.361 e 1.576 mm.

Luiz *et al.* (2006), a partir de medidas realizadas em diversos pontos na cidade em outubro de 2005, apontaram variações nos valores da temperatura e da umidade relativa do ar, em função de diferentes tipos de cobertura do solo. Em termos de diferenças térmicas mais significativas, pode ser destacado o Parque Areião, na região sul, com diferença no valor da temperatura do ar de até 8°C inferior à da região central da capital. Quanto à umidade relativa do ar, foram constatadas, às 16h, diferenças de 15% entre o Parque Areião e a Praça Central do setor Pedro Ludovico, ambos situados na região sul da cidade.

### 3 – METODOLOGIA

A análise acerca das variações e as possíveis tendências dos elementos do clima, especificamente temperatura e umidade relativa do ar, foram obtidas a partir da aplicação de testes de hipóteses. A análise dos dados contemplou a média anual das temperaturas máximas e mínimas e a média anual da umidade relativa do ar. O tratamento estatístico foi direcionado à aplicação de testes de hipóteses, a partir da análise de regressão linear simples e do teste não paramétricos de Mann-Kendall Sazonal (SMK), de acordo com Hirsch *et al.* (1982). O teste de regressão foi aplicado para indicar alterações climáticas por meio da significância do coeficiente angular de uma reta ajustada às informações. O objetivo do teste é determinar o intervalo de confiança do coeficiente angular, sendo este considerado de confiança quando for superior a 50%.

Conforme Back (2001), Marengo & Alves (2005), Blain (2009), Krishnakumar & Gopakumar (2009) e Rodrigues *et al.* (2010), o método não paramétrico de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Mann (1945) e Kendall (1975), tem sido muito utilizado na análise de tendência da variabilidade de séries temporais meteorológicas. Entretanto, quando os dados da amostra são serialmente correlacionados, é afetada a capacidade do teste de Mann-Kendall de avaliar corretamente o significado da tendência, o que aumenta a probabilidade de detectar tendências quando, na verdade, não existem ou vice-versa, conforme explicitam Blain (2010) e Hamed & Rao (1998).

Foi verificada a possibilidade de presença de correlação serial para as séries da temperatura e umidade relativa do ar, a partir da função de autocorrelação do *Software Statistical R*, de acordo com Morettini & Tolói (2006). As séries temporais da temperatura e umidade relativa do ar, apontaram para correlação serial positiva e, conforme proposta de Hirsch *et al.* (1982), essa correlação positiva indica a possibilidade de aplicar o teste Mann-Kendall Sazonal (SMK).

O teste SMK é uma variação do teste de MK tradicional que incorpora o efeito de autocorrelação na estatística do teste. Mais detalhes podem ser vistos nos trabalhos de Hipel & McLeod (2005), Hirsch *et al.* (1982) e Hamed & Rao (1997). O teste não paramétrico de Mann-Kendall Sazonal (SMK) foi aplicado a partir do *software Statistical R*, conforme Hipel & McLeo, (2005) e Hirsch *et al.* (1982), às séries temporais temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa do ar. Para ambos os atributos foram contempladas a séries interanual e sazonal. Devido à maneira como é executado o teste no *software Statistical R*, foi utilizado o  $p_{\text{valor}}$  resultante do teste para decidir em favor de  $H_0$  ou  $H_1$ . O  $p_{\text{valor}}$  é uma métrica que descreve a probabilidade de ser encontrado um valor mais extremo que o observado na amostra. Quando são encontrados valores muito pequenos do  $p_{\text{valor}}$  indica evidência em favor de  $H_1$ , ou seja, há alguma tendência de modificação no comportamento da série analisada.

### 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos dados diários foi obtida a variação interanual da temperatura média do ar: máxima ( $T_{\text{máx.}}$ ), mínima ( $T_{\text{mín.}}$ ) e compensada ( $T_{\text{comp.}}$ ), conforme apresentado na Figura 2. A temperatura média

máxima ( $T_{máx.}$ ) do ar para a série estudada foi de 30,2°C e a variação interanual indicou valores entre 28 e 32,1°C. Para  $T_{mín.}$ , a média para o período foi de 18,0°C, apresentando variação interanual entre 16 e 19,3°C. Quanto à série  $T_{comp}$ , a média foi de 23,6°C e a variação interanual indicou valores entre 22°C e 25°C. Observa-se, a partir da Figura 2, a tendência de elevação dos valores principalmente a partir de 1975 e, de forma mais expressiva, a partir de 1998.

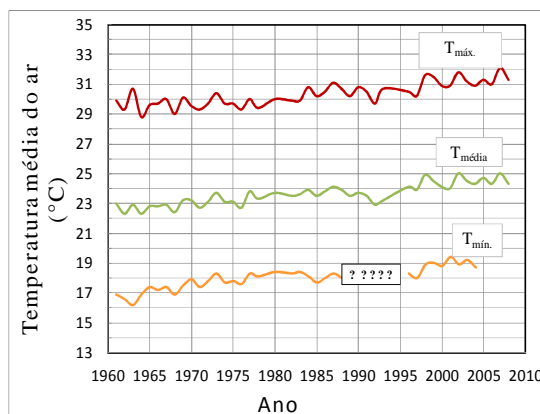


Figura 2 – Temperatura média máxima, mínima e compensada do ar (°C) em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

A Figura 3 (a) e (b) apresenta o crescimento populacional de Goiânia nas últimas décadas e a relação entre crescimento populacional e temperatura média compensada do ar. Pode ser abstraído dos gráficos a estreita relação entre aumento da população com a tendência de aumento nos valores da temperatura média do ar. Por outro lado, é importante acrescentar que a cidade de Goiânia é conurbada com os municípios vizinhos e, atualmente, a Região Metropolitana de Goiânia (RMG) tem população de 2.206.134 habitantes. Essa informação implica em considerar toda a dinâmica da RMG de Goiânia influenciando no aumento e acúmulo de energia à troposfera, refletindo em variações positivas dos valores da temperatura do ar.

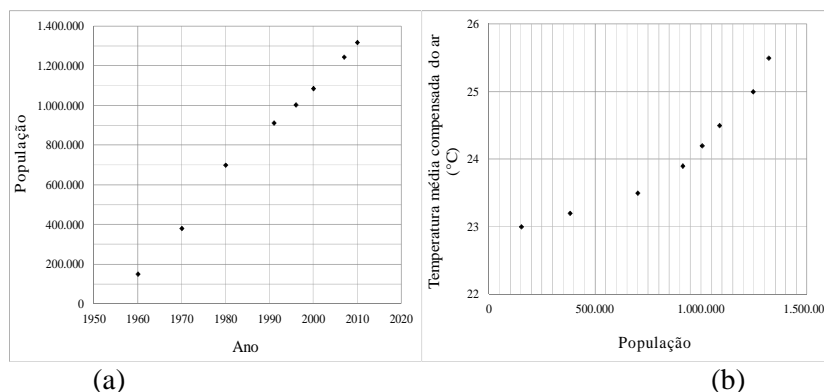


Figura 3 – (a) Crescimento populacional; (b) relação entre crescimento populacional e temperatura média compensada do ar (°C) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

#### 4.1 - ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR (°C) EM GOIÂNIA-GO NO PERÍODO DE 1961 A 2008

O teste de regressão linear para a série interanual e estações do ano, registradas, respectivamente, nas Figuras 4 (a) e (b), 5 e 6 (a), (b), (c) e (d), aponta uma baixa variabilidade tanto para a temperatura máxima quanto para a mínima. Embora o teste indique elevação nos valores da temperatura do ar, é importante ressaltar que as análises de regressão linear atendem a escala temporal pesquisada. Caso seja aplicada extrapolação além do período analisado, pode resultar em aumento de temperatura superior ao real.

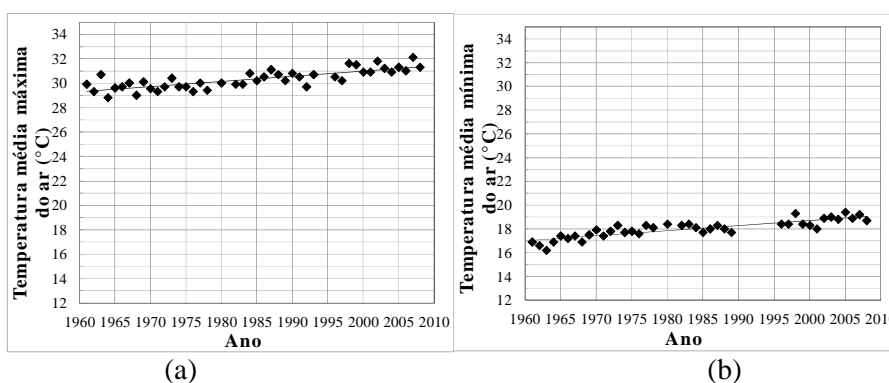


Figura 4 – Temperatura média do ar anual (°C): (a)  $T_{máx.}$  e (b)  $T_{mín.}$  em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

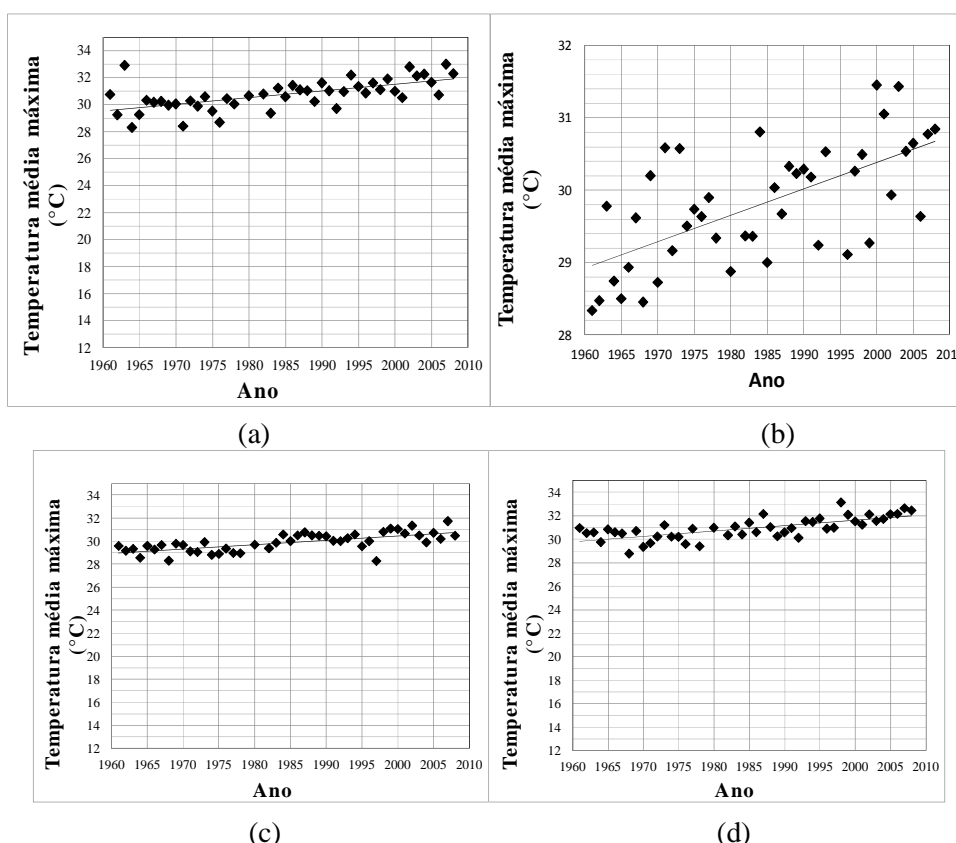


Figura 5 – Temperatura média máxima do ar (°C): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.



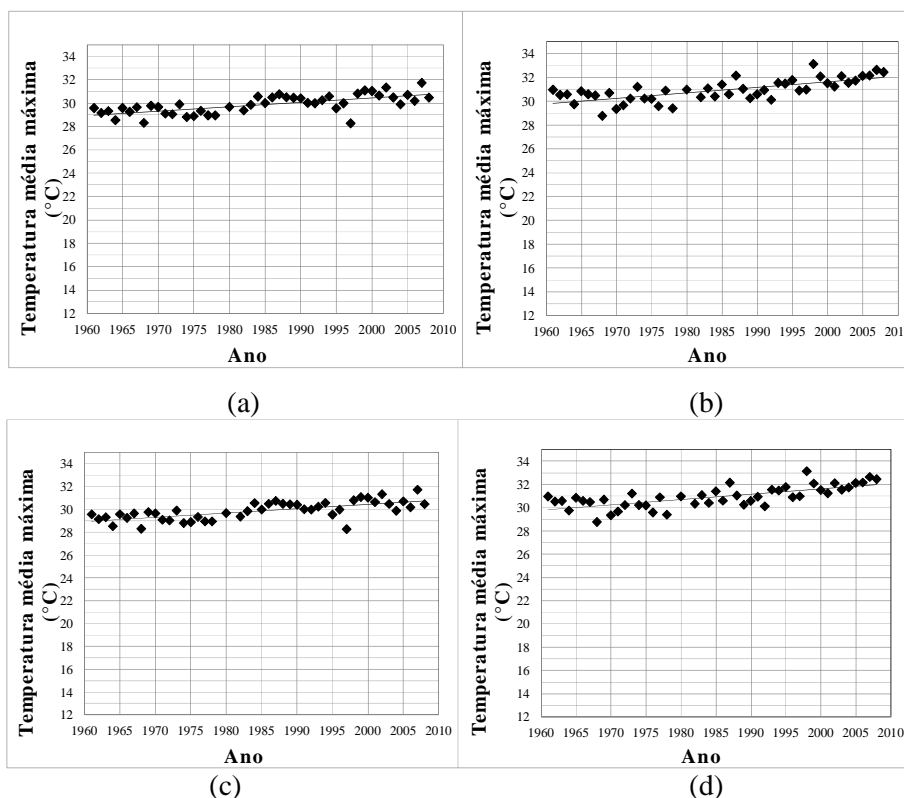


Figura 6 – Temperatura média mínima do ar (°C): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

O teste Sazonal de Mann-Kendall (SMK) indicou tendência positiva para a  $T_{máx.}$  e  $T_{mín.}$ , tanto para as séries interanuais e quanto para a componente sazonal, pois o valor de  $p_{valor}$  encontrado está inserido no intervalo menor que 5%, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros do teste Sazonal Mann Kendall (SMK) aplicados à série temperatura do ar (°C) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Temperatura média do ar (°C)	Teste Sazonal Mann-Kendall ( $p_{valor}$ )	Tendência $\alpha = 5\%$
Máxima anual	0,0000000049	Tsa
Mínima anual	0,00000741	Tsa
Máxima primavera	0,00000074	Tsa
Máxima verão	0,000003	Tsa
Máxima outono	0,0000009	Tsa
Máxima inverno	0,0000002	Tsa
Mínima primavera	0,0016	Tsa
Mínima verão	0,00189	Tsa
Mínima outono	0,000004	Tsa
Mínima inverno	0,000006	Tsa

Analisando o coeficiente angular, a tendência positiva nos valores para a  $T_{máx.}$  e para a  $T_{mín.}$  foi de 0,04°C ao ano, indicando acréscimo de aproximadamente 1,9°C, entre os anos de 1961 e 2008. Considerando a  $T_{máx.}$  para a componente sazonal, especificamente o inverno, a tendência positiva foi da ordem de 0,05°C por ano, representando acréscimo de 2°C no período da série analisada. A  $T_{mín.}$  indicou tendência de aumento para todas as estações do ano, com maior intensidade para o outono e

para o inverno, quando o coeficiente angular assinala aumento na ordem de 0,05 e 0,06°C por ano, indicando, respectivamente, acréscimo de 2 e 2,4°C no período da série analisada, ao passo que, na primavera e no verão, este aumento foi menor, respectivamente 0,03 e 0,02°C por ano, representando acréscimo na ordem de 1,2 e 0,8°C entre os anos de 1961 e 2008.

No teste SMK, para a análise interanual, o  $p_{\text{valor}}$  encontrado indicou a tendência de elevações mais significativas nos valores das temperaturas máximas em detrimento das temperaturas mínimas. Ao serem consideradas as estações do ano, o teste aponta uma tendência positiva para as temperaturas máximas, com elevações mais significativas para a primavera, o outono e o inverno. Já para as temperaturas mínimas, o teste também indicou elevações para todas as estações do ano, sendo mais significativas principalmente no outono e no inverno. As tendências apontadas para o comportamento da temperatura do ar indicam uma forte relação com os fatores relacionados a continentalidade e ângulo solar associados à ocupação urbana e à baixa velocidade dos ventos. Avaliados em conjunto, esses fatores justificam a elevação da temperatura do ar, principalmente durante o inverno e a primavera.

O acréscimo de 1,9°C a 2,4°C, entre os anos de 1961 a 2008, está acima da média indicada por Houghton et al. (1996) para o aumento global da temperatura. Esses pesquisadores indicam acréscimo entre 0,3 a 0,6°C, desde o final do século XIX. Essa diferença se deve, provavelmente, à diferença nas amostras consideradas, pois enquanto a de Houghton *et al.* (1996) contempla as variações sob o aspecto global, este estudo concentra-se na avaliação de uma área urbana. Contudo, os valores indicados para o aumento nos valores da temperatura do ar (máxima e mínima) estão de acordo com os estudos de Minuzzi *et al.* (2010), os quais apontam aumento da temperatura máxima e mínima para Minas Gerais em torno de 1,3 a 3,6°C em 43 anos.

Mesmo evidenciando conformidade com os estudos que indicam o aumento da temperatura máxima e mínima, não se pode deixar de apontar possíveis problemas de erros de observação, causados por falhas humanas ou por falta de manutenção dos equipamentos. Por outro lado, também é importante considerar que esta análise contempla informações de uma estação meteorológica, representativa da área densamente ocupada da cidade de Goiânia, evidenciando aí a importância do fator escala associado ao fator cobertura do solo nas análises das variações no comportamento dos atributos do clima.

#### **4.2 – Análise da variação e da tendência da série umidade relativa média do ar (U.R.): interanual e sazonal em Goiânia, no período de 1961 a 2008.**

Quanto ao atributo atmosférico relacionado à umidade relativa do ar, a série temporal indicou uma média de 64,3%. Ao considerar a componente sazonal, a média aponta para elevada variabilidade, conforme pode ser verificado na Tabela 5 a seguir.

Tabela. 5 – Média e variação sazonal dos índices de umidade relativa do ar (%) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Estação do ano	Média (%)	Variação (%)
Primavera	68,02	58,69 a 78,01
Verão	74,82	69,26 a 82,68
Outono	65,45	57,22 a 72,81
Inverno	49,31	41,27 a 56,10

O teste de regressão linear, tanto para a escala interanual quanto para a sazonal, apresentou valores abaixo do limite de confiança. Contudo, é relevante observar que o valor do limite de confiança indicado para série interanual pode ser considerado razoável, conforme pode ser visto nas Figuras 7 e 8 (a), (b), (c) e (d), especificamente para (c), o que justifica sua aceitação. Isso permite inferir-se sobre a tendência de redução nos valores de umidade relativa do ar, para a série interanual, em torno 6,9% entre os anos de 1961 e 2008.

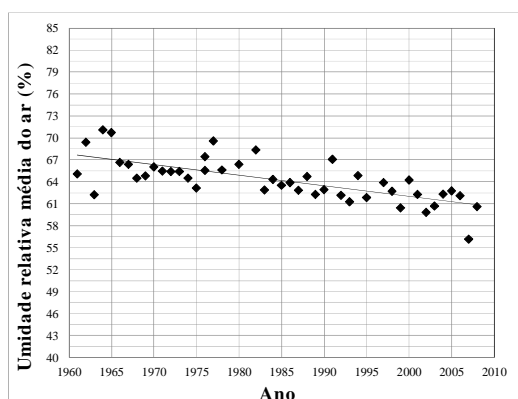


Figura 7 – Umidade relativa média anual do ar (%) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

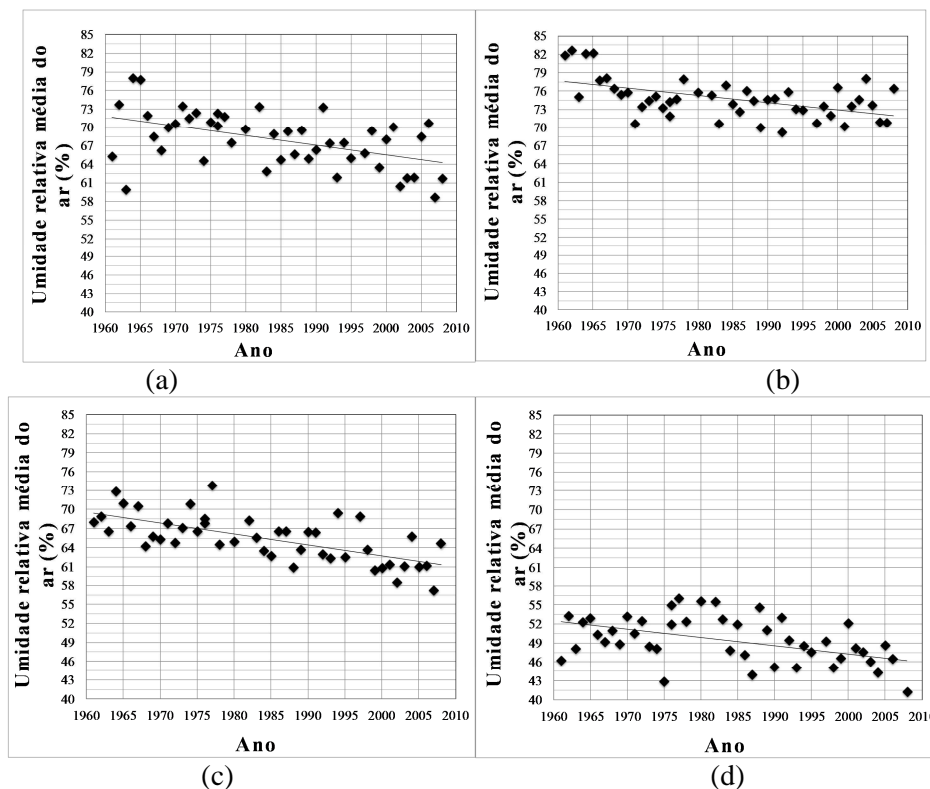


Figura 8 – Umidade relativa média do ar (%): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

O teste Sazonal Mann-Kendall (SMK) apontou tendência negativa tanto para a análise interanual quanto para as estações do ano, pois o valor de  $p_{\text{valor}}$  encontrado está inserido no intervalo menor que 5%, de acordo com a Tabela 6. O teste SMK indicou para o outono e o inverno as tendências negativas mais significativas.

Tabela 6 – Parâmetros do teste Sazonal Mann Kendall (SMK) aplicados à série umidade relativa do ar para as escalas temporais interanual e sazonal em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Umidade relativa do ar (%)	Teste Sazonal Mann-Kendall ( $p_{\text{valor}}$ )	Tendência $\alpha = 5\%$
Interanual	0,0000000096	Tsd
Primavera	0,0015	Tsd
Verão	0,0013	Tsd
Outono	0,0000016	Tsd
Inverno	0,00049	Tsd

O coeficiente angular obtido indicou que, entre os anos de 1961 a 2008, houve diminuição aproximada em até 6,9% da umidade relativa do ar. Esses resultados implicam consequências de natureza socioambientais relacionadas principalmente com a saúde da população urbana, pois os problemas respiratórios são intensificados no inverno, quando os valores de umidade relativa do ar atingem os índices mais baixos do ano.

## 5 - CONSIDERAIS FINAIS

Conhecendo os sistemas produtores dos tipos de tempo regional, os elementos atmosféricos atuantes na região de Goiânia obedecem ao controle da radiação de localidades tropicais, respeitando sua localização (latitude). Os fatores geográficos locais, como altitude e relevo, são pouco significativos, devido à configuração de formas plana a suavemente ondulada. A continentalidade representa o fator influenciador na amplitude térmica e na variabilidade das chuvas.

As análises dos testes de hipótese aplicados permitem inferir que a primavera, o outono e o inverno, apresentam, para os últimos 48 anos, variações mais expressivas dos atributos atmosféricos temperatura e umidade relativa do ar. Essas variações são observadas pelas tendências positivas nos valores da  $T_{\text{máx.}}$  e da  $T_{\text{mín.}}$ , associados à tendência negativa significativa nos valores da umidade relativa do ar. Mediante essas variações, é possível considerar que existe forte tendência para a antecipação do período seco no outono e o seu prolongamento durante a estação da primavera. Deste modo, é possível inferir-se a tendência do prolongamento do período seco no decorrer do ano, associada a elevadas temperaturas do ar, baixa amplitude térmica e baixa umidade relativa do ar.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 2001, 36(5): 717-726.
- BLAIN, G. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. Revista Brasileira de Meteorologia, (2010). 25(1): 114-124.

- BLAIN, G. C.; PICOLI, M.C.A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 2009, 68(3): 807-815.
- CAMPOS, J.E.G.; RODRIGUES, A.P., ALMEIDA, L.; MAGALHÃES, L.F., MARANHÃO SÁ, M.A. Diagnóstico Hidrogeológico da Região de Goiânia. AGIM/GO. Superintência de Geologia e Mineração da Secretaria da Indústria e Comércio, Goiânia,GO,2 003, 125 p.
- CASSETI, V. Ambiente e Apropriação do Relevo. Contexto, São Paulo, SP, 1991, 147 p.
- CASSETI, V. (). Os Ventos em Goiânia/GO. *Revista Brasileira de Geofísica*, 1993, 11(2): 215-224.
- CASSETI, V. Modelos estimativos de perdas geradas por efeitos pluvioerosivos. *Boletim Goiano de Geografia*. 1986, 4/6 (1-2):55-62,.
- DBO ENGENHARIA LTDA. Reurbanização dos Vales do Macambira e Anicuns: estudo de impacto ambiental – EIA / DBO Engenharia Ltda. Prefeitura de Goiânia, Goiânia, 2004.
- ES VAN, H.M.. Evaluation of temporal, spatial, and tillage-induced variability for parameterization of soil infiltration. *Geoderma*, 1993, 60(1-4): 187-199.
- EVANGELISTA, B.A. Aplicações geoestatísticas na análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de Goiás e Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, ICH/UnB, Brasília, 2004, 112 p.
- FONZAR, B. C. (1997). Mudanças climáticas na cidade de Goiânia. In: *Boletim Climatológico*. FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, 2(3): 247-250.
- GANDU, A. W.; SILVA DIAS, P. L. Simulação numérica dos efeitos locais da convecção de verão sobre a América do Sul. *Anais do VIII Cong. Brasileiro de Meteorologia*, 2004, 2: 481-484.
- HAMED , K. H. ; RAO, A. R.. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data.. *ELSEVIER, Journal of Hydrology, USA*, 1998, pp. 182-196.
- HIPE, K.W.; MACLEOD, A.I. Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems. Electronic reprint of our book originally published in 1994, 2005.
- HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R.; SMITH, R.A. Techniques for trend assessment for monthly water quality data, *Water Resources Research*, 1982, 18: 107-121.
- HOUGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.C., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., KATTERBERG, A., MASKELL, K. Climate change, 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, England, 584 p. <http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/1994Book/>, 1996.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Saneamento básico e problemas ambientais em Goiânia–1992. IBGE: Divisão de Geociências do Centro Oeste, Rio de Janeiro: IBGE, 1999, 80 p.
- KRISHNAKUMAR, K.N.; GOPAKUMAR, C.S.; PRASADA RAO, G.S.L.H.V. Rainfall trends in twentieth century over Kerala, India. *ELSEVIER, Atmospheric Environment*, 2009, 43(11): 1940-1944.
- LUIZ, G.C.; NASCIMENTO, D.T.F.; QUEIROZ, B.A.; SILVA, T.A.; CARVALHO, A.P.S. Levantamento do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar: uma experiência didática-pedagógica no ensino da climatologia-Goiânia-GO/2005. *Anais do VII Simposio Brasileiro de climatologia Geográfica*. Rondonópolis-MT. 20 de agosto, 2006, Fundação Universidade Federal do Mato Grossom, CD Room. 2006.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Tendências Hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2005, 20(2): 215-226.
- MINUZZI, R.B.; VIANELLO R. L.; SEDIYAMA, G.C.. Oscilações climáticas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2010, 25(2): 227-236.
- MONTEIRO, C.A.F. Notas para o estudo do clima do Centro-Oeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia*, 1951, pp.22-45.
- MONTEIRO, C.A.F. O clima da região Sul. *GEOGRAFIA DO BRASIL : GRANDE REGIÃO SUL*. Rio de Janeiro: IBGE, 1969, pp. 66-116.
- MORETTINI, P.A., TOLÓI, C.M.C. *Análise de Séries Temporais*. 2.ed. Edgard Blucher, São Paulo, SP., 2006. 544 p.
- NIMER, E. A circulação atmosférica e as condições de tempo como fundamento para a compreensão do clima. *Geografia do Brasil: Região Centro-Oeste*. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 1989, v. 1, pp. 23-34.
- QUADRO, M. F.L. (). Estudo de Episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), São José dos Campos, SP, 1994, 97 p.
- RODRIGUES, R.A.; SANTOS, R.S. Estudo de tendência climática na série temporal de precipitação pluviométrica em Araguari (MG). *Revista Geográfica Acadêmica*, 2007, 1 (1): 20-27.

*APLICAÇÃO DO TESTE SAZONAL DE MANN KENDALL NA ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR – GOIÂNIA-GO: SÉRIE HISTÓRICA 1961 A 2008*

- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1991. 449p.
- VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do Estado de Minas Gerais. Revista Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 1986, v.12, n.138, p.6-8,
- VIDAL, A.; PERRIER, A. Analysis of a simplified relation for estimating daily evapotranspiration from satellite thermal IR data. International Journal of Remote Sensing, 1992, 10(1): 1.327-1.337.
- VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from clouds winds. Mon. Wea. Rev., 1981, 109: 599-610.