# VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Climatic Variability

**Ana Maria Heuminski de AVILA**
Faculdade de Jaguariúna

**Renata Ribeiro do Valle GONÇALVES**
Faculdade de Jaguariúna

**Resumo**: Atualmente, a importância na determinação da variabilidade espaço-temporal da temperatura e precipitação tem maior destaque, devido a preocupação com as mudanças climáticas, que podem estar contribuindo para o aquecimento global causando profundas modificações na estrutura organizacional dos ecossistemas, em várias partes do mundo. O objetivo deste trabalho foi analisar os valores extremos anuais de temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta e precipitação máxima absoluta do município de Campinas no período 1890 a 2007. A partir da série histórica de dados diários das variáveis absolutas foram selecionados valores extremos ocorridos durante cada ano e fez-se uma análise de tendência dos dados. Os resultados obtidos pelas análises de tendência apresentaram um aumento significativo para a temperatura mínima absoluta ao longo da série, enquanto que para a temperatura máxima absoluta e precipitação máxima absoluta diárias, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos extremos nas duas últimas décadas e na última década, respectivamente.
**Palavras-chave**: mudança climática, temperatura extrema, precipitação extrema.

**Abstract:** Currently, the importance in determining the spatio-temporal variability of temperature and precipitation is more prominent, due to concern about climate change, which may be contributing to global warming causing profound changes in organizational structure of ecosystems in many parts of the world. The objective of this study was to analyze the extreme values of annual absolute maximum temperature, minimum temperature and absolute maximum precipitation of the municipality of Campinas through the period of 1890 to 2007. From the historical data of the absolute daily variables, extreme values were selected during each year and a trend analysis of the data was made. The results obtained by the trend analysis showed a significant increase of the absolute minimum temperature throughout the series, while for the absolute maximum and absolute maximum daily precipitation, there was an increase in frequency of extreme events in the last two decades and last decade, respectively.
**Keywords:** climate change, extreme temperature, extreme precipitation.

## INTRODUÇÃO

O clima da terra passou por contínuas variações naturais ao longo de sua história evolutiva gerando e transformando novas organizações de ecossistemas. O último período de glaciação, por exemplo, terminou há 10 mil anos quando começou o atual período de interglaciação. Essas mudanças climáticas envolvem fatores internos e externos ao sistema. Os fatores internos incluem variações no sistema solar, efeitos astronômicos sobre a órbita da terra e atividades vulcânicas. Os fatores externos incluem a variabilidade natural do clima e sua interação com a atmosfera, oceanos e superfície da terra (LAMB, 1973).

A principal fonte de energia que atinge a superfície terrestre é o Sol. Essa energia, caminhando pelo espaço sob a forma de energia eletromagnética, tem como principal característica o seu comprimento de onda, entre 380 e 3.000nm, chamados ondas curtas. Ao penetrar na atmosfera, parte dessa energia é refletida pelos componentes da própria atmosfera, como os aerossóis, as nuvens e as partículas de poeira, chegando à superfície já atenuada. A fração absorvida das ondas curtas promove o aquecimento das superfícies que, por sua vez, passam a reemitir de acordo com a quarta potência de sua temperatura (CAMPBELL e NORMANN, 1998).

Para as temperaturas dos corpos existentes na superfície e na atmosfera, os comprimentos de onda emitida estão acima dos 4.000nm, faixa espectral denominada radiação de ondas longas (ROL). A radiação nesse comprimento de onda é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera como o gás carbônico ($CO_2$), o metano ($CH_4$), o ozônio ($O_3$), o óxido nitroso ($N_2O$) e o vapor d'água ($H_2O$), formando o efeito estufa natural, que mantém o planeta Terra a uma temperatura média de 15$^oC$, sem este efeito a temperatura da Terra ficaria em torno de -17℃ (BARRY e CHORLEY, 1998).

A atmosfera terrestre é uma mistura mecânica de partículas sólidas, gases e massas líquidas. Os principais gases são o Nitrogênio (78%) e o Oxigênio (21%), existindo ainda outros gases em menores quantidades. Os gases comportam-se como simples misturas mecânicas, mas em circunstâncias especiais como nas reações

fotoquímicas combinam-se entre si formando-se e dissociando-se. Outro componente importante é o vapor d'água que existe em quantidades variáveis, em torno de 4% por volume.

No Século XVIII com a Revolução Industrial, a utilização de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e derivados de Petróleo, tem-se intensificado. Com o uso crescente desses elementos a atmosfera começou a alterar sua composição, aumentando a quantidade de gases poluentes de longa vida, sendo o principal deles o $CO_2$. O aumento da concentração dos gases efeito estufa pelas atividades humanas causa o efeito estufa antrópico, formando uma espécie de barreira à radiação infravermelha mantendo-a próxima a superfície de terra.

Entre 1750 e 1995 a concentração de $CO_2$ na atmosfera aumentou 28%, passando de 280 para 358 ppm, a concentração de Metano (CH4) passou de 800 ppbv da era pré-industrial para 1,750 ppbv na década de 90, um aumento de aproximadamente 10ppbv anualmente. O Óxido Nitroso ($N_2O$) originário de queima de combustíveis fósseis e de biomassa, de automóveis, de processos industriais e do uso de fertilizantes químicos, teve sua concentração aumentada de 285 ppbv da era pré-industrial para 310 ppbv na década de 90. Destacam-se ainda os Clorofluorcarbonos, especialmente o Freon-11 ($CFCl_3$) e o Freon-12 ($CF_2Cl_2$) usados comumente em sistemas refrigeradores e aerossóis, presentes na atmosfera após 1930 e os HFCs e HCFCs usados em processos de lavagem a seco e em detergentes, os quais têm aumentado significativamente suas concentrações na atmosfera após a década de 80 (BARRY e CHORLEY, 1998).

Em termos simples, o aumento da temperatura induz a maior evapotranspiração (soma da evaporação da água à superfície com a transpiração das plantas), reduzindo a quantidade de água no solo, mesmo que as chuvas não diminuam significativamente. Esse fator pode por si só desencadear a substituição dos biomas existentes hoje por outros mais adaptados a clima com menor disponibilidade hídrica para as plantas (por exemplo, savanas substituindo florestas, caatingas substituindo savanas, semi-deserto substituindo caatinga). Ao aquecimento global deve-se levar em conta outras alterações que contribuem para criar as substituições de substituições de biomas. É o

caso das alterações de cobertura da vegetação que ocorrem em diversas partes do globo (SAMPAIO et. al., 2008)

Outro fator é o fogo, a combinação da fragmentação florestal, desmatamentos e aquecimento em razão dos próprios desmatamentos aliados à prática agrícola. A combinação sinérgica dos impactos climáticos regionais decorrentes dos desmatamentos com aqueles resultantes do aquecimento global, implicando climas mais quentes e possivelmente também mais secos, aliada a maior propensão a incêndios florestais, amplifica tremendamente a vulnerabilidade dos ecossistemas tropicais, favorecendo as espécies mais adaptadas a essas novas condições e que são tipicamente aquelas de savanas tropicais e subtropicais, naturalmente adaptadas a climas quentes, com longa estação seca e onde o fogo desempenha o papel fundamenta em sua ecologia.

Dessa forma, intensos impactos de longo prazo seriam sentidos nos solos, na biodiversidade e nos sistemas hídricos. Com relação ao último, além da forte mudança no ciclo hidrológico, haveria também um problema sócio-econômico. Primeiro porque a pesca é uma atividade bastante importante tanto para prover alimento quanto para manter o comércio porque os rios subsidiam grande parte da demanda hídrica da população. Além disso, haveria problemas com o mais importante meio de locomoção na região, o transporte fluvial.

As trocas entre a superfície terrestre e a atmosfera são componentes cruciais nos ciclos de praticamente todos os elementos, como a água, o carbono e o nitrogênio. À medida que as trocas ocorrem, as concentrações desses elementos são alteradas no tempo e no espaço. As mudanças ambientais atuais, as drásticas alterações nas condições físicas do meio e as limitações do sistema biológico em absorver o excesso de gases lançados na atmosfera levarão a uma redistribuição da vida na biosfera terrestre. As espécies mais adaptadas às novas condições deverão sobressair às menos adaptadas, havendo um processo migratório entre as espécies e inclusive o homem buscaria recursos e condições necessárias a sua sobrevivência (SCHEFFER et al., 2001).

Atualmente, a importância na determinação da variabilidade espaço-temporal da temperatura e precipitação tem maior destaque, devido a preocupação com as mudanças do clima, que podem estar contribuindo para o aquecimento global causando profundas modificações na estrutura organizacional dos ecossistemas, em várias partes do mundo (IPCC, 2007a).

Estudos globais recentes têm demonstrado mudanças consistentes na temperatura do ar e na precipitação pluvial nos últimos anos, em várias partes do mundo (ALEXANDER et al., 2006; IPCC, 2007b). A temperatura média da terra poderá aumentar entre 1,8ºC e 4,0ºC nos próximos 100 anos (SOLOMON et al., 2007), com incrementos mais significativos sobre as temperaturas mínimas do ar, do que sobre as máximas, as quais não apresentam tendências consistentes, como no caso das análises realizadas para a América do Sul (VINCENT et al., 2005). Trabalhos científicos contemporâneos têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, indicando a ocorrência de mudanças globais, com conseqüências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola (IPCC, 2007b).

As mudanças atuais vão muito além das mudanças climáticas, dentre os processos de alteração que o planeta vivencia, relacionados diretamente ao uso e ocupação do solo e às atividades humanas, destacam-se, poluição atmosférica e dos corpos d'água, perda de biodiversidade e concentrações urbanas. O aumento exponencial da população reflete-se diretamente no uso e exploração dos ecossistemas. A extensão da terra usada para a agricultura, a partir da segunda metade do século XX foi maior que a soma das áreas usadas nos dois séculos anteriores. Esse processo se deu essencialmente para suprir o aumento da demanda por alimento, água doce, madeira e combustível (RUDDIMAN, 2005)

O número de estudos sobre a resposta de espécies da flora e da fauna Amazônica e do Cerrado às mudanças climáticas é reduzidíssimo, mas estes indicam que, para um aumento de 2º C a 3º C na temperatura média, até 25% das árvores do Cerrado e até cera de 40% de árvores da Amazônia poderiam desaparecer até o final deste século (SAMPAIO et al. 2008).

A fim de evitar catástrofes irreversíveis, o aumento da temperatura do planeta tem sido objeto de preocupação de cientistas e governantes, os quais tentam estabelecer meios para adaptação ou mitigação de seus efeitos. O Protocolo de Quioto realizado no Japão em 1997 estabelece metas para que os países industrializados reduzam, entre 2008 e 2012, as emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990.

De forma geral, com o aquecimento global, em um futuro próximo espera-se cenário de clima mais extremo, com secas, inundações e ondas de calor mais freqüentes. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e conseqüentemente há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais freqüentes também poderá ser sentidos.

Baseado nas informações descritas anteriormente, o objetivo deste trabalho foi analisar os valores extremos anuais de temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta e precipitação máxima absoluta do município de Campinas no período 1890 a 2007.

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi o município de Campinas, no estado de São Paulo, localizado entre as coordenadas geográficas 47°03'39" de longitude oeste e 22°54'21" de latitude sul, como ilustra a Figura 1. O clima de Campinas é classificado como Tropical de Altitude, com média de temperatura de 21°C, com predominância de chuvas no verão e com estiagens médias de 30 a 60 dias entre os meses de julho e agosto e estiagens agrícolas que podem chegar a 120 dias. É possível haver geadas: entretanto, a última geada ocorrida na cidade aconteceu em julho de 2000, quando se atingiu -1°C.

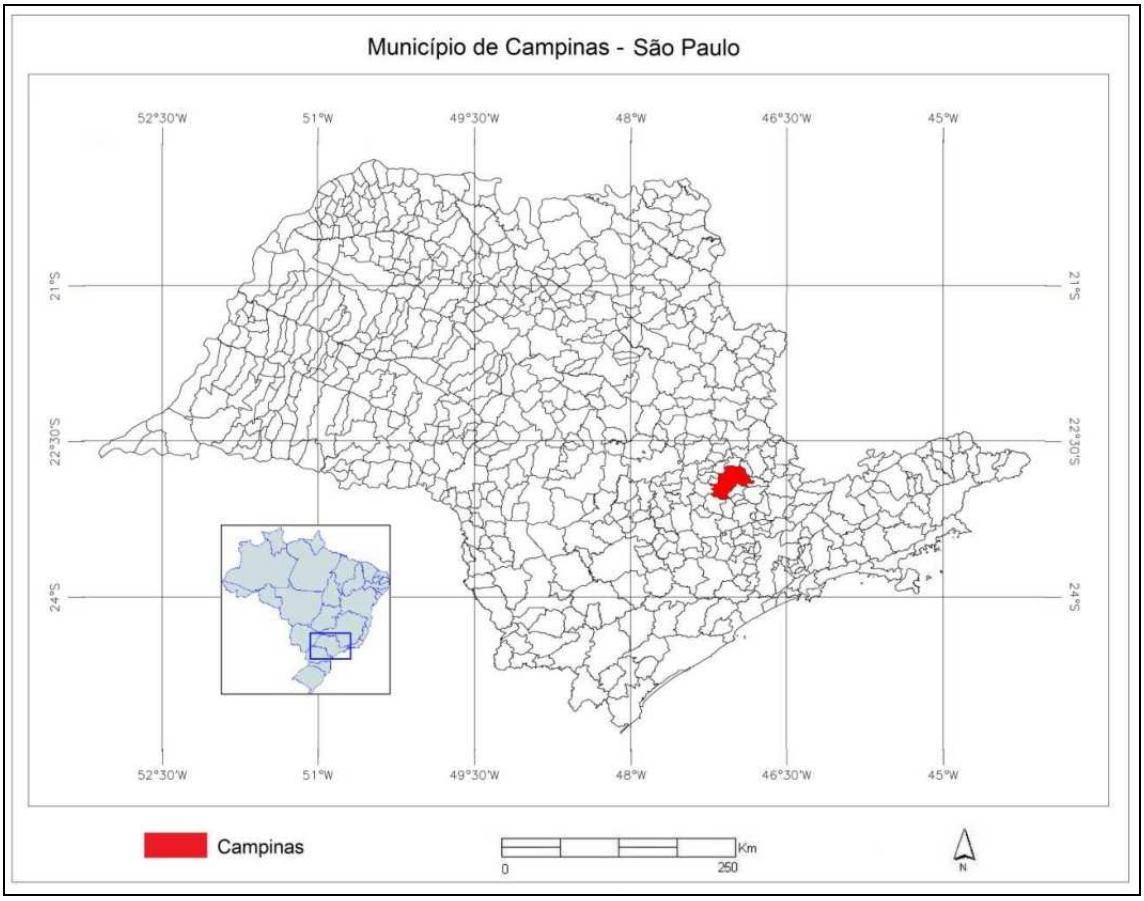


Figura 1. Município de Campinas, SP.

Para a realização destes trabalho foi utilizada uma série histórica de dados diários de temperatura máxima absoluta (°C), temper atura mínima absoluta (°C) do ar e de precipitação máxima absoluta (mm/dia) entre os anos 1890 a 2007, medidos na Estação Meteorólogica do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

A partir da série de dados diários das temperaturas máxima absoluta e mínima absoluta do ar e da precipitação máxima absoluta foram selecionados valores extremos ocorridos durante cada ano e fez-se uma análise de tendência dos dados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram gráficos com as tendências das séries históricas do município de Campinas de valores extremos de precipitação máxima absoluta (mm/dia), temperatura máxima absoluta (°C) e temper atura mínima absoluta (°C) no período de 1980 a 2007 como mostram as Figuras 2, 3 e 4.

De acordo com a Figura 2, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos de precipitação intensa na última década, em Campinas. Esses resultados podem ser comprovados com os estudos realizados por DUFEK e AMBRIZZI (2007), que analisaram tendências de extremos de chuva no Estado de São Paulo durante o período de 1950-1999 e concluíram que o aumento da precipitação total anual está associado ao aumento na intensidade da precipitação. Em particular, os resultados de GROISSMANN et al. (2005) indicam aumento na freqüência de chuvas intensas desde 1940 no sudeste do Brasil.

A Figura 3 mostra que houve um incremento de 2,3℃ nas temperaturas mínimas absolutas para a série histórica estudada, apontando uma tendência de noites mais quentes e diminuição de chances de geadas em Campinas. Esse resultado corrobora os resultados encontrados por MARENGO (2007) que também mostra tendências positivas de noites quentes no Sudeste do Brasil, que vão de 5% na década de 1950 até quase 35% no início do Século XXI. Por outro lado, a tendência de dias frios tem apresentado freqüência de 25-30% na década de 1970, chegando até 5-10% em 2001-2002. BLAIN et. al. (2007) analisando os dados de temperaturas máximas e mínimas médias para a região de Campinas, verificaram uma forte tendência contínua de elevação dos valores ao longo da série, demonstrando com isso, mudança na temperatura mínima média anual entre os anos de 1890 e 2006.

A análise de tendência mostrou um aumento mais expressivo na temperatura mínima absoluta ao longo da série, enquanto que para a temperatura máxima absoluta (Figura 4) e precipitação máxima absoluta diárias, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos extremos nas duas últimas décadas e na última década, respectivamente. Esses resultados concordam com os relatórios divulgados pelo IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) que aponta uma tendência de aumento na freqüência dos eventos extremos das variáveis estudadas, em todo o globo.

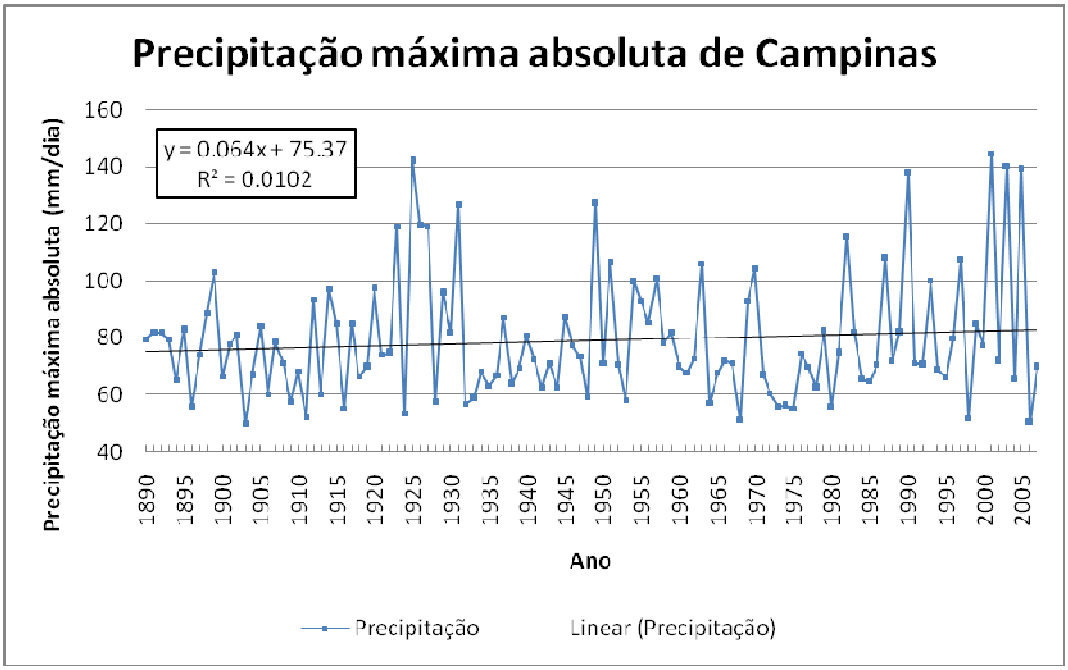


Figura 2. Gráfico de precipitação máxima de Campinas no período de 1890 a 2007.

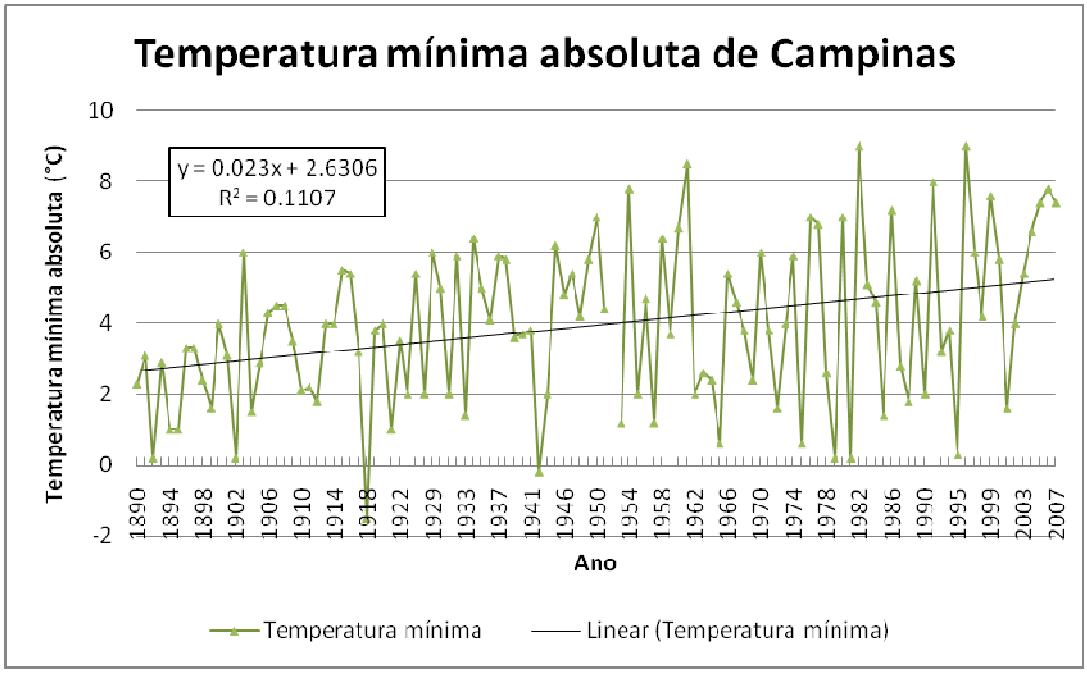


Figura 3. Gráfico de temperatura mínima de Campinas no período de 1890 a 2007.

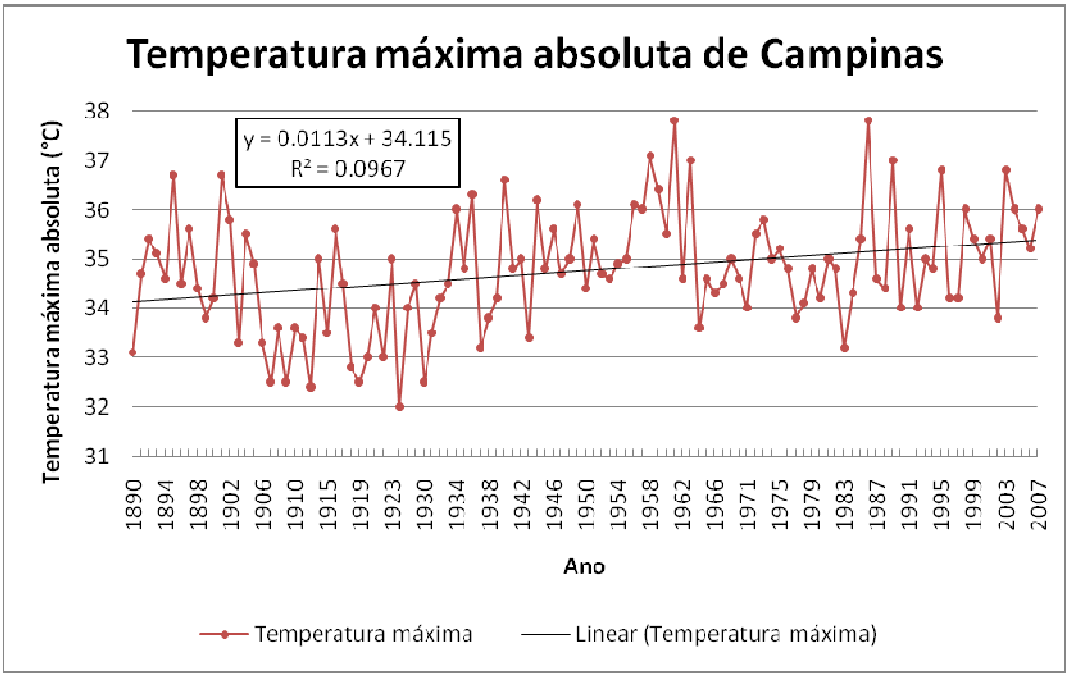


Figura 4. Gráfico de temperatura máxima de Campinas no período de 1890 a 2007.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos pelas análises de tendência apresentaram um aumento significativo para a temperatura mínima absoluta ao longo da série, enquanto que para a temperatura máxima absoluta e precipitação máxima absoluta diárias, houve um aumento na freqüência de ocorrência de eventos extremos nas duas últimas décadas e na última década, respectivamente.

Esses resultados apontam uma tendência de aumento na freqüência dos eventos extremos das variáveis estudadas, que se deve provavelmente à intensificação do efeito estufa, o qual tem sido apontado como causador do aquecimento global, por alterar o balanço de ondas longas, isto é, restringir a perda de calor pela superfície terrestre, afetando especialmente a temperatura do ar durante a noite.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCET, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.;

ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 111, DO 5109, doi: 10.1029/2005 JD006290, March 2006.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 7th ed. London: Routledge, 1998. 409p.

BLAIN, G. C.; ROLIM, G.; SENTELHAS, P. C.; LULU, J. Variabilidade temporal da temperatura do ar em Campinas, SP: Análise de tendências e mudanças climáticas. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. 1 CD-ROM.

CAMPBELL, G. S.; NORMANN, J. M. **An introduction to environmental**. Biophysics. Springer, 1998, 286p.

DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. 2007

GROISSMAN, P.; KNIGHT, R.; EASTERLING, D.; KARL, T.; HEGERL, G.; RAZUVAEV, V. Trends in Intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**. v.18, p.1326-1350, 2005.

IPCC Assessment Report, 4. 2007, Valencia, Spain. **Climate change 2007**: impacts, adaptation and vulnerability: summary for policymakers. [Genebra]: IPCC, 2007a. 16 p. A report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>.

IPCC Assessment Report, 4., 2007, Valencia, Spain. **Climate change 2007**: the physical science basis: summary for policymakers. [Genebra]: IPCC, 2007b. 18 p. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://www.ipcc.ch>.

LAMB, H. H. Appendixes to part I. In: **Climate: present, past and future**. London Methuen & Co., 1972. Part 1, 483p.

MARENGO, J.; CAMARGO, C. G. C. Trends in Extreme air temperatures in southern Brazil. **International Journal of Climatology**. 2007.

RUDDIMAN, W. F. How did humans first alter global climate? **Sci American**. v.292. n.3. p.34-41, 2005.

SAMPAIO, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. A atmosfera e as mudanças climáticas. In: BUCKERIDGE, M. S. **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. São Carlos: RiMa Editora, 2008. 316p.

SCHEFFER, M.; CARPENTER, S.; FOLLEY, J.A.; FOLKE, C.; WALKER, B. Catastrophic shifts in ecosystems. **Nature**. v.413, n.6856, p.591-696, 2001.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; ALLEY, R. B.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, N. L.; CHEN, Z.; CHIDTHAISONG, A.; GREGORY, J. M.; HEGERL,G. C.; HEIMANN, M.; HEWITSON, B.; HOSKINS, B. J.; JOOS, F.; JOUZEL, J.; KATTSOV, V.; LOHMANN, U.; MATSUNO, T.; MOLINA, M.; NICHOLLS, N.; OVERPECK, J.; RAGA, G.; RAMASWAMY, V.; REN, J.; RUSTICUCCI, M.; SOMERVILLE, R.; STOCKER, T. F.; WHETTON, P.; WOOD, R. A.; WRATT, D. Technical summary. In: IPCC Assessment Report, 4., 2007, Valencia, Spain. **Climate change 2007**: the physical science basis. [Genebra]: IPCC, 2007. 74 p. A report accepted by Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change but not approved in detail. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-ts.pdf>.

VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed trends in indices of daily temperature extreme in South America 1960-2000. **Journal of Climate**, Washington, v. 18, p. 5011-5023, 2005.