



## MUDANÇAS NO USO DO SOLO E IMPACTOS SOBRE A TEMPERATURA DO AR E DO SOLO NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Edmirson Borrozzino<sup>1</sup>, Carlos Roberto Sanquetta<sup>2</sup>, Paulo Henrique Caramori<sup>3</sup>, Ana Paula Dalla Corte<sup>2</sup>, Greyce Charlyne Benedet Maas<sup>4</sup>

1. Tecnólogo em Gestão Ambiental; Especialista em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono; Londrina, PR
2. Professor do Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis da Universidade Federal do Paraná - carlos\_sanquetta@hotmail.com
3. Engenheiro Agrônomo, PhD, pesquisador do IAPAR, bolsista do CNPq, Londrina, PR

4. Tecnóloga Ambiental, Professor Convidado do Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis da Universidade Federal do Paraná  
IAPAR, Rodovia Celso Garcia Cid, km 375, CEP 86001-970, Londrina, PR. Brasil.

**Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013**

### RESUMO

As mudanças climáticas globais são um problema importante que preocupa os cientistas e a população em geral. Dentre os fatores que podem causar aquecimento destaca-se a mudança no uso do solo. O Estado do Paraná passou por um processo intenso de desflorestamento para exploração com agricultura, além do crescimento dos centros urbanos. Assim, a verificação de mudanças registradas em séries históricas de dados climáticos é um tema relevante de investigação. Neste trabalho foram verificadas as tendências de mudanças nas séries de temperaturas do ar e do solo em 10 estações meteorológicas da rede do IAPAR no Estado do Paraná. Utilizando-se a técnica da análise de regressão, verificou-se que houve aumentos significativos nas temperaturas mínimas em seis das 10 estações analisadas, mas somente em uma estação verificou-se aumento significativo nas temperaturas máximas. Assim, a tendência de aumento nas temperaturas médias é decorrente do aumento das mínimas, indicando que as noites estão se tornando mais quentes. A exposição dos solos através de práticas agrícolas pode ser um importante fator relacionado a esse padrão verificado nas séries de dados, visto que sob solo descoberto as temperaturas podem ser até 20°C mais elevadas a 2 cm de profundidade. Os resultados obtidos nesse estudo indicam a importância de se restabelecer a cobertura do solo para minorar os problemas do aquecimento global.

**PALAVRAS-CHAVE:** clima, cobertura do solo, dados meteorológicos, mudanças climáticas, regressão linear

# LAND USE CHANGE AND ITS IMPACTS ON AIR AND SOIL TEMPERATURE IN PARANA STATE, BRAZIL

## ABSTRACT

Global climate change is an important problem that worries scientists and the general population. Among the factors that could cause heating highlights the change in land use. The State of Paraná, Brazil, has undergone an intense process of deforestation for exploitation with agriculture, and the growth of urban centers. Thus, verification of recorded changes in climatic time series data is a relevant research issue. In this study, trends of changes in the series of air temperatures at 10 weather stations of the IAPAR network were observed in Paraná State. Using the technique of regression analysis, it was found that there were significant increases in minimum temperature in 6 of the 10 stations analyzed, but only at in one station there was a significant increase in maximum temperatures. Thus, the upward trend in average temperatures is due to the increase of the minimum, indicating that the nights are becoming warmer. Exposure of soils through agricultural practices can be an important factor related to the pattern observed in the data series, since under bare soil temperatures at 2 centimeters depth can be up to 20°C higher than under covered soils. The results of this study indicate the importance of restoring the soil cover to mitigate the problems of global warming.

**KEYWORDS:** climate, soil cover, meteorological data, climate change, linear regression

## INTRODUÇÃO

As Mudanças Climáticas Globais constituem um problema grave e complexo, por isso cada vez mais são objetos de estudos e discussões. Dentre as causas apontadas como responsáveis pelo aquecimento global destacam-se a emissão de gases (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso) decorrentes de fatores antrópicos e a mudança no uso do solo. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) mostrou que houve um aumento da temperatura média global de 0,74°C nos últimos 100 anos e que a tendência de aquecimento vem se acelerando nos últimos 50 anos. As melhores estimativas dos modelos de simulação projetam cenários para o Século XXI em que a temperatura média do planeta será, no mínimo, 1,8°C e no máximo cerca de 4°C superior aos valores atuais. Também são previstas: a redução das chuvas em áreas subtropicais em até 20% e o agravamento das secas, podendo advir grandes problemas sociais e econômicos.

No país, as emissões dos principais gases de efeito estufa estimados em 1994 foram: CO<sub>2</sub> - foram estimadas em 1.030 Tg, destacando-se o Setor Mudanças do Uso da Terra e Florestas, com 75%, seguindo-se o Setor Energia, com 23%; CH<sub>4</sub> - foram estimadas em 13,2 Tg, sendo 77% devido à Agropecuária e 14% ao Setor Mudanças do Uso da Terra e Florestas; N<sub>2</sub>O - foram estimadas em 0,55 Tg, sendo que a Agropecuária contribuiu com 92% (BRASIL, 2004).

A crescente preocupação com o aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, principalmente de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e o consequente aquecimento global, levou a comunidade científica a questionar-se sobre o papel dos

solos como fonte ou sumidouro de carbono (CERRI, 2002). Os solos, fora as rochas carbonadas, armazenam cerca de 1.500 Gt de carbono, estoque que pode ser alterado pela modificação das práticas agrícolas e uso da terra. É na camada de solo até 30 centímetros que ocorrem processos de modificações na quantidade e qualidade das incorporações orgânicas, transferências da matéria orgânica como: erosão, depósito, lixiviação e escoamento na forma sólida ou líquida. Essas variações podem chegar a 50% do estoque inicial nos primeiros 20 centímetros, nos solos tropicais (BERNOUX *et al.*, 2005). O homem pode, portanto, pela forma como maneja os solos, influenciar nos fluxos de carbono entre os ecossistemas continentais e a atmosfera, para um melhor controle dos fluxos dos gases de efeito estufa (GEEs).

A retirada da vegetação, além do impacto inicial da queima do estoque de carbono, causa significativa alteração nos balanços energético e hídrico do ambiente. Essas alterações precisam ser investigadas e, caso seja comprovada a tendência de elevação da temperatura, poderiam sinalizar a necessidade de adoção de medidas mitigatórias e de adaptação, objetivando a preservação do meio ambiente equilibrado. De acordo com MOURA (2004), nas últimas cinco décadas, a crescente urbanização no Estado do Paraná desenvolveu um arranjo espacial fundamentalmente associado à modernização e reordenamento da base produtiva. Como conseqüente arranjo espacial tem-se a oposição de áreas dinâmicas, com alta densidade de ocupação e atividades, incluindo os principais centros urbanos e seus municípios do entorno; e áreas de esvaziamento, caracterizadas pelos fluxos emigratórios. Diante da drástica mudança na paisagem ocorrida no Paraná nas últimas décadas, existe uma grande preocupação acerca do futuro da agricultura na região, ante a perspectiva de mudanças climáticas e degradação dos recursos produtivos.

Este estudo visa caracterizar as alterações térmicas do ar e do solo no Paraná decorrentes de mudanças da cobertura da superfície, com base nas análises de séries históricas de dados coletados pelo IAPAR. Objetivou-se também quantificar as alterações nas temperaturas do solo a dois cm de profundidade em solo descoberto, coberto por grama e material vegetal (*mulching*) e analisar as tendências de alterações das temperaturas máximas, mínimas e médias do ar. Visou-se também analisar as alterações ocorridas e discutir propostas de soluções com o fito de mitigar os problemas de degradação ambiental.

## MATERIAL E METODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados mensais de temperatura do ar (média, máxima e mínima) e de temperatura do solo, das estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2012) apresentadas no Quadro 1 e representadas geograficamente na Figura 1. As séries de dados utilizadas não correspondem ao total de observações disponíveis em todas essas estações, pois não foram utilizados dados de algumas estações em que foi necessário mudar o local, como nos casos de Cambará (mudança de local em 1971) e Morretes (mudança de local em 1978).

**QUADRO 1** - Relação das estações meteorológicas utilizadas com respectivas coordenadas (graus e décimos) e ano de início da série de observações

Estação	Coordenadas (Latitude e Longitude)		Ano de início
Cambará	-23,00	-50,02	1971
Londrina	-23,22	-51,10	1976
Paranavaí	-23,05	-52,26	1975
Telêmaco Borba	-24,20	-50,37	1976
Guarapuava	-25,21	-51,30	1976
Palotina	-24,18	-53,55	1973
Morretes	-25,30	-48,49	1978
Lapa	-25,47	-49,46	1989
Clevelândia	-26,25	-52,21	1973
Planalto	-25,42	-53,47	1975



**FIGURA 1** - Localização das estações meteorológicas do IAPAR, destacando com círculo vermelho as utilizadas neste trabalho. Fonte: IAPAR (2013), adaptado pelo autor

Para analisar a existência de tendências nas séries de dados de temperatura do ar (mínima, média e máxima), aplicou-se a técnica da análise de regressão. Essa técnica tem sido utilizada, com sucesso, por diversos autores para estudar tendências em séries de dados meteorológicos (por exemplo, CAMPOS *et al.*, 2006; GONÇALVES & ASSAD, 2009; SOUZA & AZEVEDO, 2009). Utilizou-se a análise de variância e o teste t para testar a significância do modelo e dos parâmetros. O ajuste à equação da reta foi avaliado pelo coeficiente de determinação  $R^2$ .

Os dados de leituras de temperatura do solo às 15 horas, na profundidade de dois cm (solos gramado, descoberto e com cobertura vegetal morta), coletados a partir de 1986 (exceto Londrina desde 1980) foram digitalizados, organizados em

planilhas e verificados para eliminação de valores duvidosos e correções, quando necessário.

Os valores médios mensais foram obtidos através da média aritmética dos valores diários. Os maiores valores de temperatura observada em cada mês foram utilizados para determinar os valores máximos mensais. Foram verificadas as diferenças, por épocas do ano, decorrentes das alterações de cobertura do solo (solo gramado, descoberto e com cobertura vegetal morta). Os valores obtidos foram plotados comparativamente para avaliar os impactos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise de tendências na temperatura do ar

A Tabela 1 sintetiza os resultados obtidos das análises estatísticas de tendências nas séries de dados das temperaturas máxima, mínima e média do ar, respectivamente. Os resultados obtidos reforçam outros realizados em diversas condições, em que fica patente a maior tendência de aumento das temperaturas mínimas e menores tendências de alterações nas máximas.

CAMPOS *et al.*, (2006) observaram, para as localidades de São Joaquim e Caçador - SC, tendências de aumento das temperaturas mínimas da ordem de 3°C nos últimos 50-60 anos.

GONÇALVES & ASSAD (2009) verificaram tendências de aumento das temperaturas mínimas em 72 locais do Brasil, de um total de 78 analisados, verificando aumentos de 0,5°C por década na região Norte, 0,3°C por década nas regiões Nordeste e Sudeste e 0,2°C por década nas regiões Centro-Oeste e Sul.

**TABELA 1** - Temperaturas mínima, média e máxima do ar: significância da regressão e do coeficiente angular e coeficiente de determinação ( $R^2$ )

Local	Temperatura Mínima				Temperatura Média				Temperatura Máxima			
	Regressão	Interseção	Indinação	R2	Regressão	Interseção	Indinação	R2	Regressão	Interseção	Indinação	R2
Paranavai	**	17,4130 **	0,0176	0,2260	*	-11,0000 *	0,0166	0,1593	NS	12,8630 NS	0,0078	0,0185
Londrina	**	-20,1200 **	0,0181	0,2174	**	-22,2850 **	0,0217	0,2541	*	-20,5520 *	0,0240	0,1671
Cambará	*	-10,3170 *	0,0134	0,1203	NS	1,2301 NS	0,0102	0,0838	NS	1,3668 NS	0,0137	0,0740
Palotina	NS	28,0810 NS	-0,0061	0,0154	NS	18,4850 NS	0,0014	0,0014	NS	2,9459 NS	0,0129	0,0587
Guarapuava	*	-24,9920 *	0,0189	0,1819	**	-19,6130 **	0,0184	0,2311	NS	28,1410 NS	-0,0023	0,0028
Telêmaco Borba	**	-40,5600 **	0,0271	0,2485	**	-10,0150 **	0,0143	0,1897	NS	3,7444 NS	0,0149	0,0899
Planalto	NS	36,4360 NS	-0,0099	0,0570	NS	45,1510 NS	-0,0212	0,0776	NS	40,2750 NS	-0,0065	0,0144
Clevelândia	NS	-2,3994 NS	0,0078	0,0413	NS	-3,5778 NS	0,0105	0,0924	NS	-3,6623 NS	0,0136	0,0949
Lapa	NS	-26,1050 NS	0,0196	0,1100	NS	-19,2780 NS	0,0181	0,0980	NS	14,8500 NS	0,0041	0,0029
Morretes	**	-23,8140 **	0,0207	0,3279	NS	-1,0695 NS	0,0110	0,1012	NS	10,3040 NS	0,0080	0,0318

\*\* significativo a 0,01; \* significativo a 0,05; NS não significativo

SOUZA & AZEVEDO (2009) constataram que está ocorrendo aquecimento na região de Recife, PE, e que este não é devido a variabilidade climática e sim relacionado com mudanças ocorridas nos últimos 47 anos.

No Estado de São Paulo, BLAIN *et al.*, (2009) encontraram tendências de aumento das mínimas em alguns locais, mas não descartam a possibilidade de haver efeitos da urbanização, recomendando novos estudos para isolar características locais das séries de dados. A tendência de aumento das temperaturas mínimas indica que as noites estão se tornando mais quentes, com diminuição da frequência e severidade das geadas e redução das horas de frio para o repouso invernal de espécies temperadas.

RICCE *et al.*, (2009) observaram que durante as últimas décadas os invernos vêm se tornando sistematicamente mais curtos, indicando a mesma tendência de aumentos nas temperaturas mínimas.

Deve-se destacar que as séries analisadas neste trabalho ainda possuem períodos de observações relativamente curtos para se constatar tendências consistentes de mudanças em todos os locais, mas fornecem indicativos de que podem estar havendo alterações importantes nos padrões de temperatura do ar.

### **Análise das temperaturas do solo**

Nas Figuras 2 e 3 são apresentadas as temperaturas média e máxima do solo a dois cm de profundidade (15:00 h) em cada estação meteorológica analisada. Algumas estações não puderam ser avaliadas devido a problemas com os dados.

Em geral observa-se que as diferenças nas temperaturas entre solos descoberto e coberto podem variar de 15 a 20°C. As diferenças são mais pronunciadas no Norte do Estado (Cambará, Paranavaí e Londrina) e Oeste (Palotina), onde há maior aquecimento devido à maior quantidade de radiação disponível.

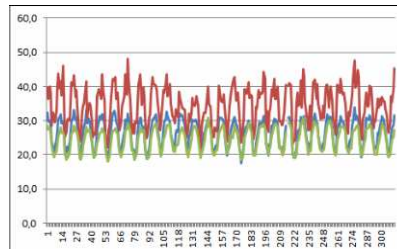
Nessas estações observa-se que é frequente as temperaturas máximas a dois cm ultrapassarem 50°C, resultando em maior aquecimento e armazenamento do calor no solo durante o dia. Com o resfriamento que ocorre a partir do pôr do sol, há uma inversão dos fluxos de calor, que passam a sair do solo para a atmosfera.

Assim, em regiões com maior proporção de solo descoberto, pode haver uma contribuição expressiva do calor armazenado no solo durante o dia, o qual volta para a atmosfera, impedindo o resfriamento mais intenso que normalmente ocorria em condições de vegetação cobrindo totalmente a região. Além do aquecimento, há também associado à rápida decomposição da matéria orgânica do solo, erosão da camada fértil, esterilização da fauna microbiana e assoreamento e poluição das nascentes por escoamento superficial da água. Assim, fica evidente a importância de se manter o solo coberto e buscar práticas agrícolas de menor impacto ao meio ambiente, dentro do conceito de sustentabilidade.

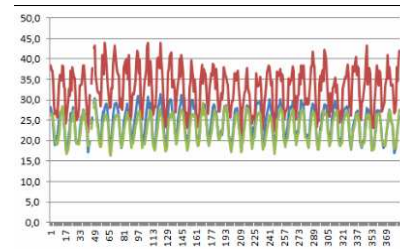
Os resultados obtidos nesse trabalho, embora preliminares devido ao tamanho relativamente pequeno das séries de dados analisados, possibilitam a obtenção de algumas conclusões e recomendações importantes para os tomadores de decisões. Primeiramente fica evidente a importância da cobertura do solo para propiciar maior equilíbrio no balanço energético, evitando o aquecimento excessivo da superfície que resultará em maior calor armazenado no perfil, além de poder provocar estresses nas culturas agrícolas que são deletérios à produção.

Preferencialmente o solo deve ser permanentemente vegetado, pois o processo de transpiração das plantas é o melhor mecanismo de resfriamento da superfície, podendo corresponder até a 70% da energia líquida disponível à superfície, segundo diversos estudos consagrados sobre esse tema. Além disso, as plantas têm o potencial de absorver e imobilizar o CO<sub>2</sub> atmosférico, armazenando-o na biomassa. Em se tratando de espécies perenes, esse processo é mais duradouro e efetivo. Uma prática que pode contribuir para minorar o problema da exposição do solo é a utilização de sistemas agroflorestais e silvipastoril, em que se combina o plantio de culturas agrícolas e pastagens com espécies perenes lenhosas, que propiciam cobertura permanente do solo e sequestram o carbono da atmosfera.

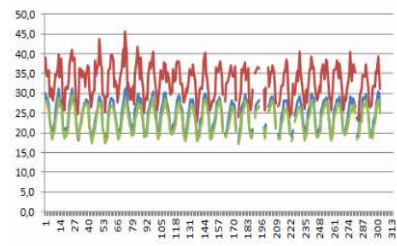
PARANAÍ



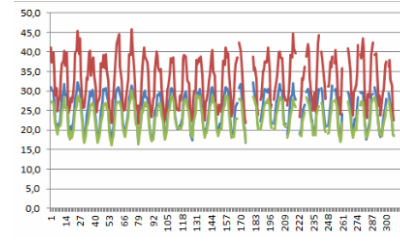
LONDRINA



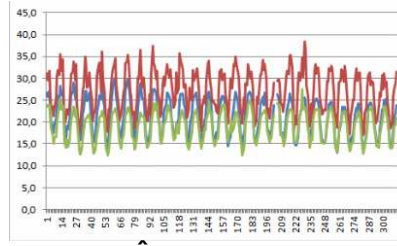
CAMBARÁ



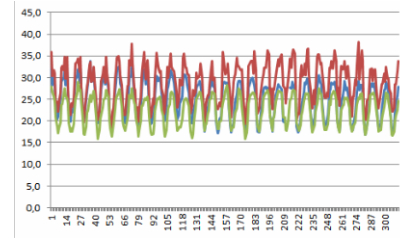
PALOTINA



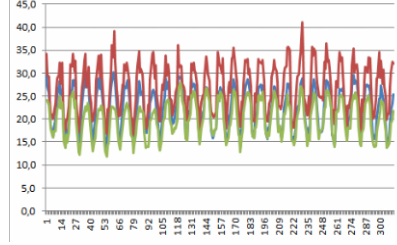
GUARAPUAVA



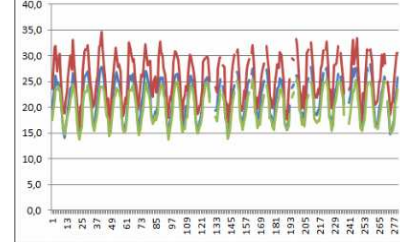
TELÊMACO BORBA



CLEVELÂNDIA

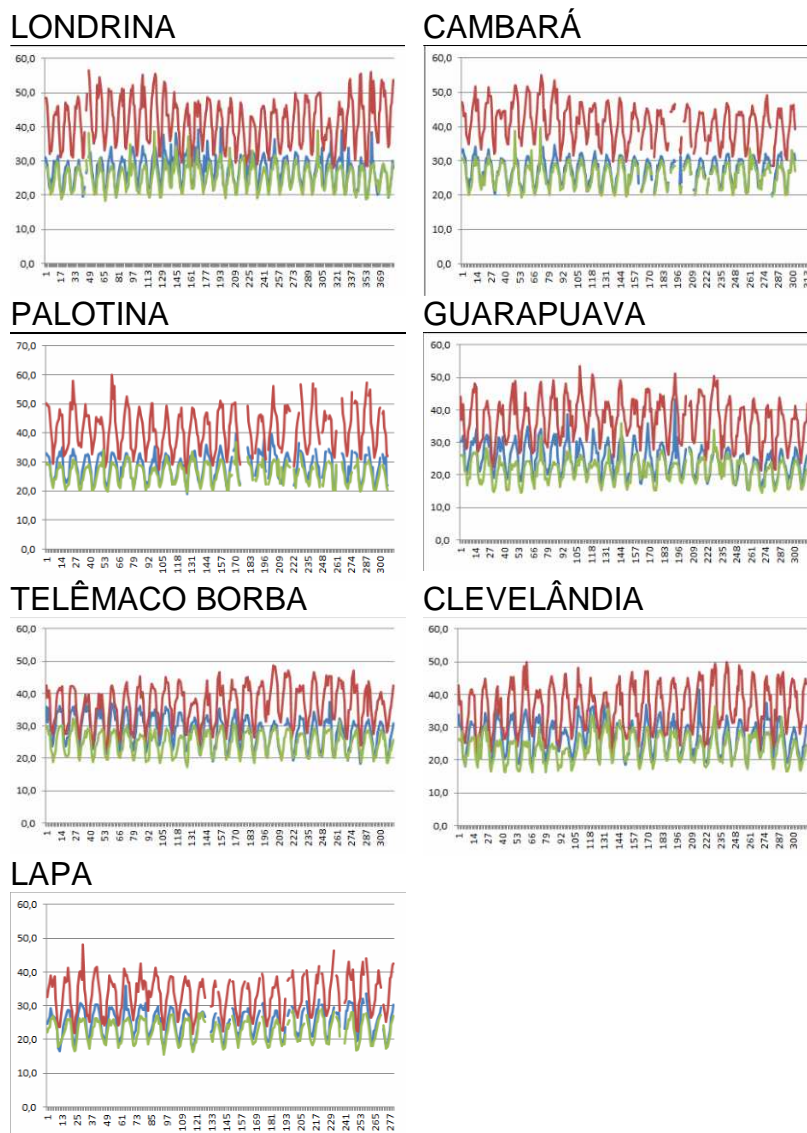


LAPA



— Gramado — Descoberto — Mulching

**FIGURA 2** - Temperaturas médias (às 15:00 h) do solo gramado, descoberto e com cobertura vegetal morta (*mulching*), a dois centímetros de profundidade.



Para todos os locais exceto Planalto e Morretes

— Gramado — Descoberto — Mulching

**FIGURA 3** - Temperaturas máximas (às 15:00 h) do solo gramado, descoberto e com cobertura vegetal morta (*mulching*), a dois centímetros de profundidade.

### CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho indicam que há evidências de alterações nas temperaturas do ar em diversas estações meteorológicas do IAPAR. O aumento verificado na temperatura média desses locais é decorrente do aumento das temperaturas mínimas do ar. Em geral não são observadas alterações nas temperaturas máximas.

A mudança da cobertura do solo, com consequente aumento no calor armazenado durante o dia, o qual retorna para o ar durante a noite, pode ser um fator determinante nesse comportamento. Não podendo descartar também o efeito associado do aumento de gases na atmosfera, que podem estar contribuindo para aumentar o efeito estufa. As temperaturas do solo exposto atingem valores extremos durante o dia, resultando em maior armazenamento de calor, que também pode estar contribuindo para a amenização das mínimas noturnas.

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, recomendam-se as seguintes ações:

- Estímulo ao uso de práticas que mantenham os solos cobertos o ano todo, para evitar os problemas de superaquecimento da superfície;
- Privilegiar a adoção de sistemas agroflorestais e silvipastoris, visando reestabelecer a condição mais próxima ao ambiente de floresta;
- Prover recursos para a manutenção das estações meteorológicas, visando à preservação de acervos de dados históricos para dar continuidade a estudos e projetos futuros na área de mudanças climáticas;
- Incentivar pesquisas voltadas para a mitigação dos efeitos do aquecimento global, como variedades de plantas mais rústicas e tolerantes ao calor e a pragas e doenças que poderão se tornar de difícil controle em ambientes aquecidos.

## REFERÊNCIAS

BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M.C.S.; FELLER, C.; CERRI, C.E.P.; ESCHENBRENNER, V.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B. Gases do efeito estufa e estoques de carbono nos solos: Inventário do Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 235- 246, jan/abr. 2005.

BLAIN, G.C; PICOLI, M.C.A.; LULU, J. Análise estatística das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 68, n.3, p.807-815, 2009.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima – Brasília. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2004. 274p.

CAMPOS, C. G. C.; BRAGA, H. J.; ALVES, R. Mudanças climáticas atuais e seus impactos no Estado de Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v.19, n.3, p. 31-35, 2006.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B. **Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos e por Mudanças de Uso da Terra e Calagem**. Relatório de Referência, Ministério da Ciência e Tecnologia. 2002.

GONÇALVES, R.R.V; ASSAD, E.D. Análise de tendências de temperatura mínima do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16, 2009, Belo

Horizonte, MG. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2009.

IAPAR. **Médias Históricas em Estações do IAPAR.** Disponível em:

[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Londrina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm).

Acesso em 25/02/2012.

IPCC 2007. **Climate Change 2007, The Fourth Assessment Report.** Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

MOURA, R. **PARANÁ: Meio século de urbanização.** Curitiba, Editora UFPR, n. 8, p. 33-44, 2004.

RICCE, W. da S., CARAMORI, P. H., MORAIS, H., SILVA, D. A. B., ATAÍDE, L. T. Análise de tendências de mudanças na temperatura e precipitação em Londrina, Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16, 2009, Belo Horizonte, MG. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2009.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V. Avaliação de tendências das temperaturas em Recife-PE: mudanças climáticas ou variabilidade? **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 462-472, 2009.