

ANÁLISE DA TEMPERATURA DO AR NO PERFIL TOPOCLIMÁTICO DO PICO DA BANDEIRA, PARQUE NACIONAL ALTO CAPARAÓ, BRASIL, ENTRE AS ALTITUDES DE 1106 m A 2892 m.

Nádia Gilma Beserra de Lima, Emerson Galvani, Rita Monteiro Falcão
Departamento de Geografia – FFLCH - Universidade de São Paulo. e-mail:
nadia.lima@usp.br; egalvani@usp.br; rita.falcao@usp.br;

INTRODUÇÃO

A variação vertical da temperatura do ar dentro da primeira camada da atmosfera, denominada Troposfera, apresenta uma redução em média de 0,65 °C a cada 100 metros de elevação acima do nível da superfície. Essa variação obviamente não considera particularidades da rugosidade próxima superfície do solo. Outras particularidades do uso do solo, como cobertura vegetal, cor, declividade e orientação das vertentes, entre outras, podem influenciar significativamente o perfil vertical de temperatura do ar.

Além das características da superfície a dinâmica atmosférica também influencia o gradiente térmico da atmosfera, por exemplo, em condições de estabilidade atmosférica, preferencialmente, em fundos de vale pode ocorrer inversão térmica, ou seja, aumento da temperatura com a elevação acima do nível do solo, contrariando os princípios aqui descritos.

Galvani et al (2005) trabalhando em um perfil do Parque Nacional de Itatiaia, RJ, entre as cotas 1800m e 2800m, perfazendo o perfil do Pico das Agulhas Negras, registrou um gradiente vertical de temperatura de -0,58°C/100m. Os autores observaram ainda que a cobertura vegetal é um importante controle da temperatura do ar neste perfil, identificando três ambientes: 1) Rochedos, entre as cotas 2760 a 2520 m, com temperaturas médias de 10,2°C; b) Campos de altitude, entre as cotas altimétricas de 2440 a 2330 metros, com temperaturas médias de 10,7 °C; 3) Floresta Ombrófila Densa Alto Montana, entre as cotas 2180 a 1800 m, com temperaturas médias de 13,5°C. Diversos outros pesquisadores da área da Agronomia também estudaram as relações entre temperatura do ar e a altitude, a saber: Alfonsi et al. (1974), Buriol et al. (1973), Buriol et al. (1974), Coelho et al. (1973), Pinto et al. (1972), Pinto e Alfonsi (1974), Sediya e Melo Júnior (1998), Oliveira Neto et al. (2002) e Cargnelutti Filho et al. (2006) entre outros.

Em outro trabalho, Galvani et al (2008) estudaram o gradiente térmico da atmosfera no perfil topoclimático do Parque Estadual de Intervalos, entre as altitudes de 150 A 950 m, considerando essa variação altimétrica (800 m) obteve-se um gradiente atmosférico de $0,51 \text{ } ^\circ\text{C}.100 \text{ m}^{-1}$, concluindo-se que a altitude é um importante controlador da temperatura do ar na área de estudo.

O objetivo deste trabalho é contribuir para o entendimento do perfil vertical da temperatura do ar e sua interação com a superfície terrestre em um perfil topoclimático localizado no Parque Nacional Alto Caparaó, entre os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo – Brasil. A escolha da variação altimétrica como controle principal no estudo do microclima se deve a pela possibilidade de entendimento das variações de temperatura do ar que ocorrem em cada uma das cotas altimétricas escolhidas para este trabalho.

ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional do Caparaó situa-se na parte sudoeste do estado do Espírito Santo na divisa com o leste do estado de Minas Gerais, abrangendo também parte deste Estado. Localiza-se entre os paralelos $20^\circ19' \text{ S}$ e $20^\circ37' \text{ S}$ e os meridianos $41^\circ43' \text{ W}$ e $41^\circ53' \text{ W}$ com uma área de aproximadamente 26.000 hectares em 1981.

De acordo com o Plano de manejo do parque (1981), o clima da região é classificado como tropical de altitude, com presença de uma estação mais chuvosa, correspondente aos meses de primavera e verão, e outra menos chuvosa, correspondente aos meses de outono e inverno. Os totais pluviométricos situam-se entre 1.000 e 1.500 mm anuais, chegando a 1.750 mm em determinadas áreas do parque. A vertente a barlavento sul não apresenta estação seca, ao passo que a vertente a sotavento pode chegar a três meses de estiagem ao ano, em geral de junho a agosto. A temperatura média anual varia de 24°C nas áreas de menor altitude a 16°C nas de altitudes mais elevadas, podendo atingir valores abaixo de zero em determinadas condições atmosféricas.

Nesta área a altitude é um controle climático importante que influencia a temperatura do ar, juntamente com a cobertura vegetal, a proximidade do mar (cerca de 120 km do oceano atlântico) e a latitude.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados oito mini abrigos meteorológicos em uma variação altimétrica partindo do ponto 1 (P1) a 1099 m de altitude até o pico da Bandeira com 2892 m (P8).

Detalhes construtivos e funcionalidade do mini abrigo podem ser obtidos em Armani e Galvani (2005). Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar foram programados para leituras horárias entre os dias 19/04/09 a 22/05/09 totalizando 840 observações (Figura 1). As coordenadas geográficas dos pontos encontram-se na tabela 1. Neste trabalho foram analisados somente os valores de temperatura do ar registrada nos pontos P2, P4 e P8. A escolha destes pontos deve-se a sua localização em relação ao escoamento do ar frio. O ponto P8 é o ponto mais elevado do perfil e os pontos P2 e P4 localizam-se em locais de fundo de vale e aplainados funcionando como locais de acumulo de ar frio.



Figura 1: Mini abrigo meteorológico instalado ao longo do perfil topoclimático do Pico da Bandeira – Parque Nacional Caparaó /MG.

Tabela 1: Localização dos todos os pontos instalados ao longo do perfil topoclimático do Pico da Bandeira, MG (em destaque os pontos utilizados neste trabalho).

Pontos	Coordenadas UTM (X)	Coordenadas UTM (Y)	Altitude (m)
P1	201731	7738801	1099
P2	202201	7739288	1106
P3	206962	7740622	1954
P4	206663	7739426	2365
P5	207374	7739509	2483
P6	207671	7738536	2652
P7	207968	7738022	2801
P8	208286	7737335	2882

Os sensores passaram por um período inicial de calibração antes de serem instalados a campo. Nesta fase todos os sensores ficaram instalados no mesmo ambiente e foram aferidos. Os dados foram descarregados em computador e trabalhados em programa gráfico e estatístico. Os valores médios de temperatura do ar em cada cota foram ainda relacionados com a altitude por meio de regressão linear simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gradiente térmico da atmosfera no perfil topoclimático estudado foi de 7 °C, ou seja, 15,2°C no ponto de altitude mais reduzida (P2) e de 8,3 °C no ponto de altitude mais elevada (P8). Considerando a variação altimétrica do perfil (2892 – 1106 m) que é de 1786 m, define-se um gradiente atmosférico de 0,4 °C.100 m⁻¹. Esse valor encontra-se próximo daquele obtido na literatura, que é de 0,65°C a cada 100m.

Conforme pode ser observado na Figura 02, P2 durante o período de análise sempre registrou as maiores temperaturas médias do período. Enquanto P4, apesar de estar localizado em uma altitude inferior a P8, se destacou com as menores temperaturas mínimas absolutas, apresentando em alguns momentos temperaturas inferiores a 0°C. Como por exemplo, no dia 19/05/09 enquanto P4 registrou, às 01h, -0,4°C de temperatura mínima, P8 registrou 2,9°C.

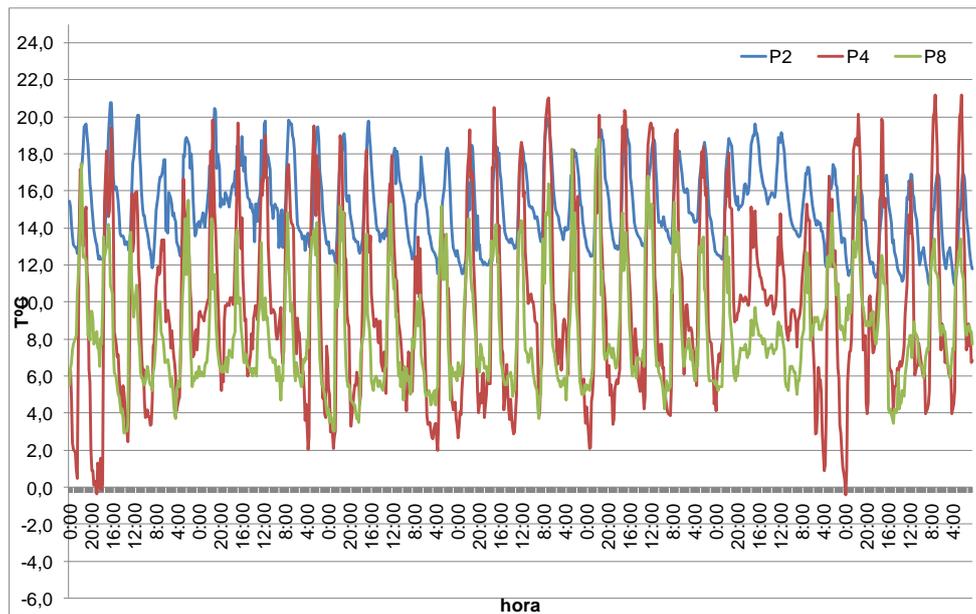


Figura 02: Variação da temperatura média do ar nos pontos instalados no Pico da Bandeira – Parque Nacional do Caparaó/MG (P2, P4 e P8), durante o período de 19/04/09 a 22/05/09.

Os valores máximos absolutos de temperatura do ar foram de 20,7°C em P2; 21,2°C em P4 e 18,8°C em P8 e os valores de temperatura mínima absoluta foram de 10,9 °C; -0,40 °C e 2,9 °C, respectivamente. Conforme pode ser observado na tabela 01, a menor amplitude térmica ocorreu em P2, enquanto P4 registrou a maior amplitude térmica.

Tabela 01: Temperatura do ar média, mínima e máxima absoluta e amplitude térmica para os postos instalados no Pico da Bandeira (P2, P4 e P8).

Temperatura do ar	P2 (T°C)	P4 (T°C)	P8 (T°C)
Média	15,2	9,7	8,3
Mínima Absoluta	10,9	-0,4	2,9
Máxima absoluta	20,7	21,2	18,8
Amplitude térmica	9,8	21,6	15,9

Percebeu-se após a análise e interpretação dos dados de temperatura do ar que a altitude é um importante controlador da temperatura do ar na área de estudo. No entanto, P4 apresentou as menores temperaturas do ar apesar dessas serem esperadas para P8. Esta condição pode ser explicada devido ao escoamento do ar frio, mais denso, para as partes mais baixas e se acumulando nas proximidades do ponto P4, principalmente no período noturno. Essa situação é definida como inversão

térmica. Vale ressaltar que é justamente nesse ponto P4 em que está localizado o local autorizado pela direção do parque para acampamento.

A figura 03 apresenta a curva média horária da temperatura do ar e o desvio absoluto para P2 e P8. Observa-se que P2 apresentou temperaturas superiores a P8 em todos a horas do dia. O desvio absoluto médio ficou em torno de 6,8°C, sendo que as menores diferenças ocorreram no período de aquecimento. Ainda é possível observar que P8 apresenta uma curva mais semelhante a curva esperada de radiação solar, pois este ponto está localizado no topo do Pico da Bandeira, recebendo de forma mais rápida e direta os raios solares, enquanto P2 apresenta interferência da orientação, sombreamento da vertente e presença de vegetação arbórea, respondendo com certo atraso a provável curva de radiação solar. Por exemplo, em média em P8 as 06h da manhã a temperatura do ar inicia seu período de aquecimento enquanto em P2 esse processo ocorre a partir das 07h.

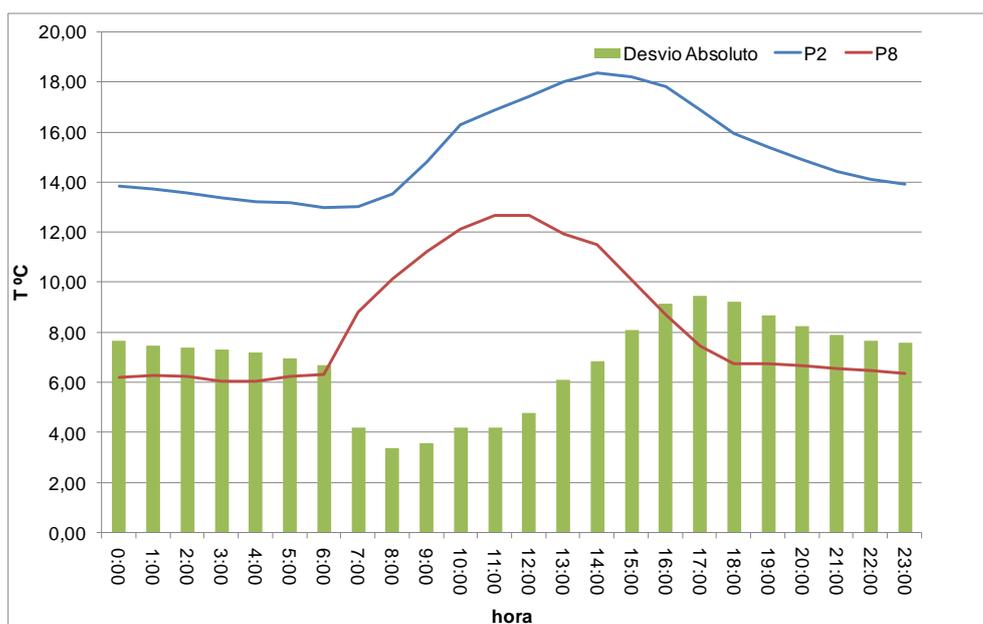


Figura 03: Temperatura média do ar horária e desvio absoluto para P2 e P8 – Pico da Bandeira – Parque Nacional Caparaó /MG.

A Figura 04 apresenta a curva média horária da temperatura do ar e o desvio absoluto para P4 e P8. Observa-se que P4 apresentou temperaturas inferiores a P8 principalmente durante o período de resfriamento noturno, evidenciando mais uma vez a *descida* de ar frio para esse ponto. No período noturno o que se observa é uma inversão do perfil térmico da atmosfera próximo a superfície com a ocorrência de

inversão térmica. O escoamento do ar frio e o acúmulo nas partes mais baixas do relevo intensificam a magnitude dessa inversão. O desvio absoluto médio ficou em torno de 1,4°C.

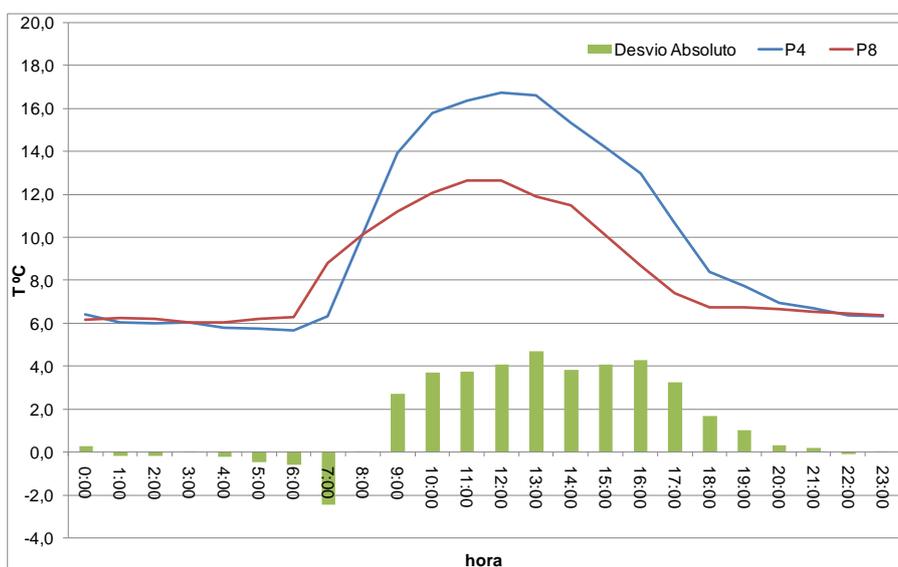


Figura 04: Temperatura média do ar horária e desvio absoluto para P4 e P8 – Pico da Bandeira – Parque Nacional Caparaó /MG.

A regressão linear entre o valor médio de temperatura do ar para todos os pontos instalados e as suas respectivas cotas mostrou elevada correlação entre esses valores, sendo representado por: $T^{\circ}\text{C} = -0,004 \cdot \text{Altitude (m)} + 19,94$, conforme figura 04. O coeficiente de correlação (R^2) da equação apresentada foi de 0,966, evidenciando uma elevada correlação entre os dados. Esse modelo pode ser aplicado para a espacialização dos dados de temperatura média do ar para o entorno da área de estudo fazendo uso de um modelo digital de terreno.

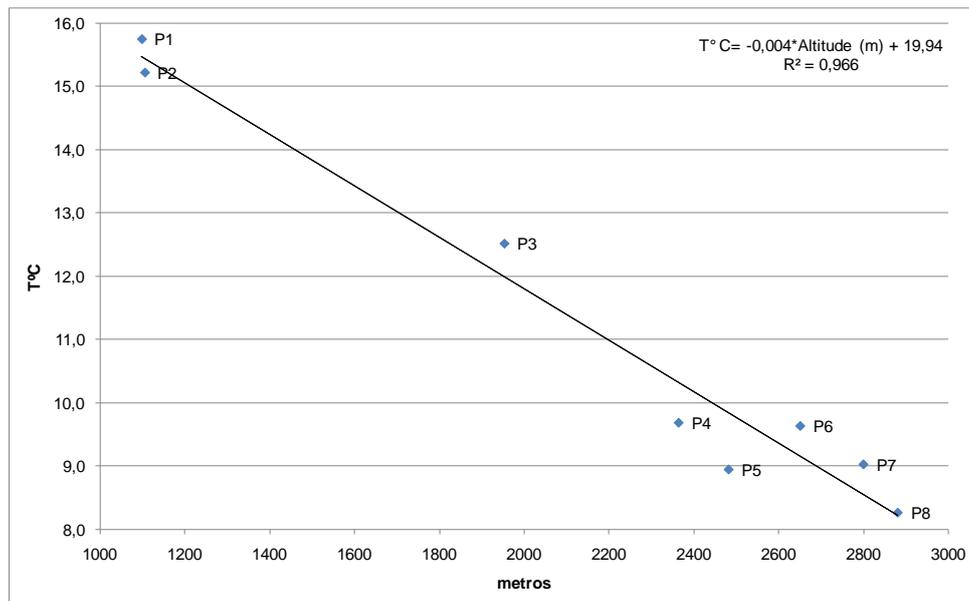


Figura 5: Coeficiente de determinação para a temperatura média do ar para os postos meteorológicos instalados no Pico da Bandeira – Parque Nacional Caparaó /MG.

Além da altitude se apresentar como importante controlador climático, principalmente quanto ao atributo temperatura do ar, observou-se que a cobertura vegetal também tem papel primordial nessa variação que ocorre nas proximidades da superfície terrestre. Os pontos selecionados, P2, P4 e P8, permitem observar a influência de três ambientes térmicos distintos, a saber:

- Ambiente térmico 01: em que se destaca a presença de Floresta Estacional Semidecidual, encontrada principalmente nas bordas da região serrana da Mantiqueira e do Caparaó adentrando-se pelo sudeste de Minas Gerais. Seu limite ocorre nos locais que apresentam período seco, normalmente no inverno, onde muitas espécies perdem as folhas. Apresenta sub-bosque fechado com grande número de espécies. Ambiente com temperatura média de 15,2°C.

- Ambiente térmico 02: Campos de altitude. Esta formação, também conhecida por campos rupestres devido à presença de afloramentos rochosos, ocorre na região de forma natural nos altos de serra, cristas e picos, a partir de 2000 metros de altitude. Em geral, a fisionomia é rasteira e arbustiva, atribuindo-se tal fato a baixa profundidade dos solos, em geral turfoso e negro, que impedem a formação lençol freático transformando a área em charcos com a mínima precipitação. Ambiente intermediário, com temperatura média de 9,7°C.

- Ambiente térmico 03: Campos limpos e rochedos. Predomínio de Campos Limpos e Rochedos, onde não se encontram mais espécies arbustivas e as gramíneas

colonizam regiões de neossolos rasos e de rocha intemperizada por entre grandes extensões de blocos e afloramentos rochosos. Ambiente com temperatura média de 8,3°C.

Diante do exposto, a variação vertical da temperatura do ar neste perfil está condicionada a dois controladores do clima: o relevo, que influencia a temperatura do ar tanto com a variação da altitude quanto com o escoamento do ar frio durante o período de resfriamento noturno ao longo do perfil topográfico e a cobertura vegetal presente nos diferentes ambientes.

Assim, se por um lado o gradiente adiabático atmosférico explica a redução da temperatura do ar, por outro, os ambientes com diferente cobertura vegetal, também o alteram. A análise dos valores médios de temperatura do ar representaram de forma fidedigna a realidade do perfil topoclimático em questão, associada a análise das amplitudes térmicas diárias e das temperaturas mínimas absolutas, contribuindo para um melhor entendimento da relação temperatura x altitude x vegetação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Definiu-se um gradiente atmosférico do perfil topoclimático (2892 – 1106 m) de 0,4 °C.100 m⁻¹. O ponto 2 (P2) registrou as maiores temperaturas médias do período. O ponto 4 (P4) apesar de estar localizado em uma altitude inferior ao ponto 8 (P8), se destacou com as menores temperaturas mínimas absolutas.

Constatou-se que apesar da altitude ser um importante controlador da temperatura do ar na área de estudo, a variação da temperatura do ar também pode ser influenciada pelo escoamento do ar frio, mais denso, para as partes mais baixas do relevo, principalmente no período noturno, situação definida como inversão térmica.

Além da altitude, observou-se que a cobertura vegetal também tem papel primordial na variação da temperatura do ar nas proximidades da superfície. Assim, se por um lado o gradiente adiabático atmosférico explica a redução da temperatura do ar, por outro, os ambientes com diferente cobertura vegetal, também o alteram.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFONSI, R.R., PINTO, H.S, PEDRO JR, M.J. Estimativa das normais de temperatura médias mensais e anual para o estado de Goiás em função de altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, 45, 1974.
- ARMANI, G.; GALVANI, E. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 2005.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M.; PINTO, H.S. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.3, p.131-150, 1973.
- BURIOL, G.A.; FERREIRA, M.; ESTEFANEL, V.; PIGNATARO, I.A.B. Estimativa das médias das temperaturas máximas mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v.4, p.81-102, 1974.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R. Altitude and geographic coordinates in the ten-day mean minimum air temperature estimation in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Pesq. agropec. bras.* [online]. 2006, vol. 41, no. 6 [cited 2008-03-31], pp. 893-901. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000600001&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0100-204X. doi: 10.1590/S0100-204X2006000600001
- COELHO, D.T., SEDIYAMA, G.C., VIEIRA, M. Estimativas das temperaturas médias mensais no estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, 20(112), p.455-59, 1973.
- GALVANI, E.; CATARUCCI, A. F. M.; CONICELLI, B.P.; BARBOSA, C.K.; LEAL, F. M.; VICENTINI J. S.B. Avaliação da temperatura do ar no perfil topoclimático do pico das Agulhas Negras, RJ – cota 1800 a 2760 metros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 4, 2005. Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, 2005.
- GALVANI, E; LIMA, N. G. B; SERAFINI JUNIOR, S.; ALVES, R.R. Avaliação da temperatura do ar no perfil topoclimático do Parque Estadual Intervales – SP, entre as altitudes de 150 a 950 metros. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2008. Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UNIFRA e UFRS.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF / FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA A CONSERVAÇÃO DA NATUREZA. **Plano de Manejo do Parque Nacional do Caparaó**. Brasília, 1981.

PINTO, H.S., ALFONSI, R. R. Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais no estado do Paraná, em função da altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, 52, São Paulo, 1974.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função de altitude e latitude**. Caderno de Ciências da Terra, v.23, p.1-20, 1972.

OLIVEIRA NETO, S.N. de; REIS, G.G. dos; REIS, M. das G.F.; LEITE, H.G.; COSTA, J.M.N. da. **Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24º latitude sul e 48 e 60º longitude oeste**. Engenharia na Agricultura, v.10, p.8-17, 2002.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. **Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no Estado de Minas Gerais**. Engenharia na Agricultura, v.6, p.57-61, 1998.