



REFRIAMENTO EVAPORATIVO E CONDICIONAMENTO DE AR CONVENCIONAL: ESTUDO EXPERIMENTAL COMPARATIVO PARA A OBTENÇÃO DO CONFORTO HUMANO

Érico Masiero (1); Francisco Vecchia (2)

- (1) Pós Graduando do Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP).
- (2) Professor Dr. do Departamento de Hidráulica e Saneamento Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP)

Resumo

Objetivos: O trabalho visa comparar, experimentalmente, a aplicação da técnica de resfriamento evaporativo e o condicionamento de ar convencional em duas unidades experimentais edificadas. Estão em avaliação o índice de umidificação, a redução da temperatura interna do ar e o consumo energético proporcionado pelos referidos sistemas.

Metodologia: O processo de avaliação consiste no monitoramento de em três unidades experimentais submetidas às mesmas condições climáticas, semelhantes em relação às suas características construtivas e ao volume de ar interno, sendo que nas duas primeiras estão aplicados os sistemas de resfriamento. A terceira unidade não conta com qualquer sistema de resfriamento e cumpre o papel de padrão de referência (testemunho) do comportamento higrotérmico para a análise. A técnica de resfriamento evaporativo utilizada consiste em um dispositivo eletromecânico de ventilação forçada que insufla o ar para o interior da unidade, fazendo-o passar por uma superfície porosa de celulose umedecida com água corrente. A ventilação forçada promove gotículas de água no interior da unidade e o seu contato com o ar quente e seco acelera a sua evaporação. O ar cede calor sensível e as gotículas de água passam do estado líquido para o gasoso no ambiente interno e, como consequência, há decréscimo da temperatura e acréscimo da umidade relativa do ar. O equipamento condicionador de ar convencional, constituído por evaporador, compressor e condensador, utiliza o processo de refrigeração por meio da compressão e da expansão do gás Freon. A aquisição de dados no interior de cada célula é tomada automaticamente por meio de *Datalogger CR10X*, utilizado para coleta e armazenamento de dados. Para registro das temperaturas, são usados sensores termopares tipo T (*Cobre-Constantan*), que fazem a medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do interior das duas células. **Resultados:** A técnica de resfriamento evaporativo aplicada atingiu índices adequados de conforto ambiental em períodos de climas quente e seco.

Além de contribuir para umidificar e renovar constantemente o ar interior da unidade experimental, essa técnica pode melhorar as condições dos espaços de permanência humana com menor consumo de energia que o condicionador de ar convencional. **Contribuições:** O trabalho comprova experimentalmente a viabilidade do uso da técnica de resfriamento evaporativo como uma alternativa para a melhoria das condições de conforto higro-térmico para espaços de ocupação humana.

Palavras-chave: resfriamento evaporativo, eficiência energética de edifícios, conforto ambiental.

Abstract

Propose: The research aims to compare, experimentally, the application of the evaporative cooling technique and conventional air conditioning in two built test cells. This paper intends to treat about reduction of indoor air temperature, control of the humidity and energy consume proportioned for two kinds of cooling appliances. **Methods:** The used process of investigation was rolled in tree tests cells with similar constructed characteristics and exposed under the same climatic conditions. Inside two of them were applied the cooling equipments and, inside the third one, there was not any cooling equipment. This third cell was called as witness of the investigations which its obtained results were used as reference standard. The used evaporative cooling technique consists in an electric-mechanical system of forced ventilation which introduces outdoor air to the indoor environment making it to pass through a humidified pad of cellulose with running water. The forced ventilation promotes a fine water dew-drop to the indoor environmental and its contact with the dry and warm air accelerates the evaporation process. The air gives sensible heat and the water dew-drops pass from the liquid to vapor state inside the test cell, as a consequence, there are air temperature decrease and relative humidity increase. The conventional air conditioning equipment, constituted of an evaporator, a compressor and a condenser, uses a cooling process through the compression and expansion of the Freon gas. The indoor acquiring of the dates was automatically taken by a Datalogger CR10X which is also used to stores obtained results. The registry of Dry Bulb Temperature (DBT) and Wet Bulb Temperature was taken with term-couples sensor type T (Copper-Constantan) inside of the tree test cells. **Results:** The applied technique of evaporative cooling reached suitable indexes of human comfort for periods with warm and dry climate. Besides to contribute to humidify and renew constantly the indoor air of the test cell, this technique is able to improve the conditions of human spaces with a lesser energy consume. **Contribution:** The

work proves experimentally the evaporative cooling use viability as an alternative to improve human comfort inside built environment.

1. Introdução

O resfriamento evaporativo é uma técnica bastante utilizada em edificações situadas em áreas com clima árido e quente, como regiões desérticas do oriente médio ou do norte da África, Segundo Fathy (1986).

Experiências bem-sucedidas em ambientes rurais, juntamente com técnicas provenientes da arquitetura vernacular de nossos ancestrais para obtenção de conforto térmico, fizeram com que algumas técnicas de resfriamento evaporativo fossem desenvolvidas ou readaptadas para ambientes de permanência humana. Embora sejam técnicas ainda pouco utilizadas no Brasil, se aplicadas com critérios, demonstram baixo consumo energético, bom desempenho térmico e possibilidade de melhorias nas condições de saúde dos ocupantes. Representam, também, uma alternativa para o uso excessivo de condicionadores de ar por compressão, pois esses sistemas exigem ambientes hermeticamente fechados para que tenham bom desempenho.

A técnica de resfriamento evaporativo avaliada nesse trabalho consiste em um dispositivo eletromecânico de ventilação forçada que insufla o ar para o interior da unidade, fazendo-o passar por um filtro de celulose umedecido com água corrente. A ventilação forçada promove gotículas de água no interior da unidade e o seu contato com o ar quente e seco acelera a sua evaporação. O ar cede calor sensível e as gotículas de água passam do estado líquido para o gasoso no ambiente interno, como consequência, há decréscimo da temperatura e acréscimo da umidade relativa do ar.

O equipamento condicionador de ar convencional, constituído por evaporador, compressor e condensador, utiliza o processo de refrigeração por meio da compressão e da expansão do gás freon.

Entre as principais justificativas para o desenvolvimento da análise comparativa estão o elevado consumo energético e os altos custos para instalação e a manutenção dos equipamentos de condicionamento de ar. O aparecimento do conceito da *building sickness* também chamada no Brasil de Síndrome do Edifício Doente (SED) que pode afetar a saúde e a produtividade das pessoas que trabalham muitas horas em ambientes fechados e com baixa qualidade do ar.

2. Objetivos

O trabalho visa comparar, experimentalmente, a aplicação da técnica de resfriamento evaporativo e o condicionamento de ar convencional em duas células experimentais edificadas. Estão em avaliação o índice de umidificação, a redução da temperatura interna do ar e o consumo energético proporcionado pelos referidos sistemas.

2.1. Objetivos específicos

Observar padrões de comportamento térmico da aplicação das técnicas de resfriamento evaporativo e condicionamento de ar, considerando as seguintes variáveis de comparação:

- A influência do ritmo climático na resposta térmica das unidades experimentais.
- O consumo de energia elétrica de cada equipamento sob as condições climáticas e ambientais apresentadas.
- A capacidade de cada técnica para manter índices confortáveis de temperatura e umidade para padrões humanos.

3. Metodologia

3.1. Análise Climática

Este trabalho aborda a atuação da dinâmica climática da região como uma variável que influencia o comportamento higrotérmico do ambiente construído tendo em vista a aplicação de técnicas de resfriamento que contribuam para adequar o ambiente construído às necessidades do conforto humano.

Segundo Vecchia (1997) o comportamento térmico dos espaços construídos pode ser avaliado por intermédio da análise de uma seqüência característica da massa de ar atuante no local e que situações peculiares do tempo atmosférico podem ser analisadas por meio de episódios climáticos representativos de determinado período.

As observações ocorreram entre os dias 23 e 24 de Novembro de 2005 no qual foram propiciadas pelas condições atmosféricas favoráveis para a comparação entre as técnicas de resfriamento.

O período de prenúncio da entrada de uma massa de ar fria na Região apresenta características marcantes e, na Região Sudeste especificamente, pode ser observado que a

temperatura do ar aumenta, a umidade relativa do ar e a pressão atmosférica diminuem em relação ao dia anterior. É durante esse período que a saúde e o conforto humano ficam mais comprometidos devido às bruscas alterações das condições atmosféricas e os equipamentos de resfriamento ambiental são mais exigidos.

De acordo com INPE-CPTEC (2005) o padrão de escoamento da segunda quinzena do mês foi semelhante às características sinóticas de verão, ou seja, houve o estabelecimento da chamada Zona de Convergência do Atlântico Sul entre os dias 24 e 28.

É possível observar a evolução da massa de ar em direção a Região Sudeste na Figura 1 e, mesmo por um curto período, a temperatura durante à tarde do dia 24 de novembro atingiu 28,8°C. A evolução da massa de ar em direção a Região Sudeste na Figura 2 e o mínimo valor de umidade relativa do ar externo registrado foi 65%.

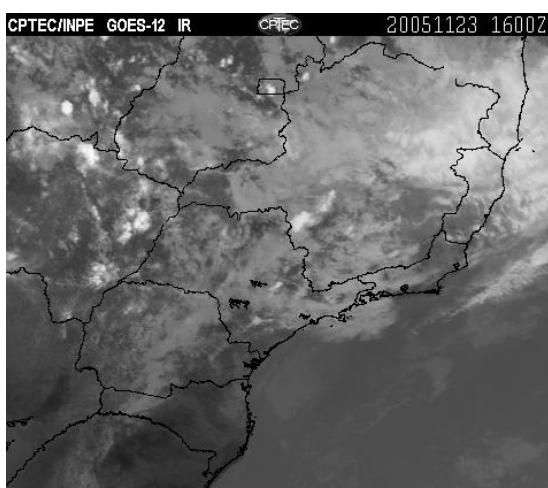


FIGURA 1

Fonte: INPE-CPTEC (2005)

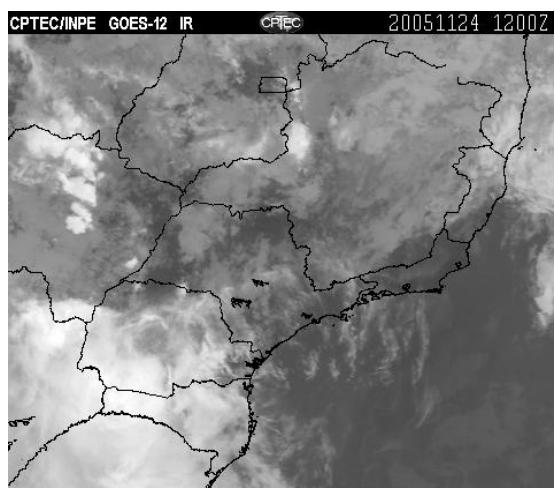


FIGURA 2

Fonte: INPE-CPTEC (2005)

3.2. Unidades Experimentais

O processo de avaliação consiste no monitoramento das condições de temperatura e umidade relativa do ar interno de três unidades experimentais submetidas às mesmas condições climáticas e localizadas no canteiro experimental do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), situado no município de Itirapina. As unidades monitoradas são semelhantes em relação às suas características construtivas e ao volume de ar interno, sendo que nas duas primeiras estão aplicados os sistemas de resfriamento. A terceira célula não conta com qualquer sistema de resfriamento e cumpre o papel de padrão de referência (testemunho) do comportamento higrotérmico para a análise.

Foram tomadas três unidades experimentais semelhantes em relação às dimensões e aos sistemas construtivos. A base de cada uma delas é retangular medindo 2,30 x 2,70 m e altura média de 2,60 m, construídas de alvenaria de tijolos maciços cerâmicos de 100mm de espessura com portas e janelas de madeira. As coberturas são de telhas de fibrocimento fixadas em estrutura de madeira.

A unidade experimental no qual a técnica de resfriamento evaporativo foi aplicada conta com uma abertura na face oeste para favorecer a ventilação cruzada. Tanto a entrada como a saída de ar de unidade foi protegida contra os prováveis efeitos da radiação solar. A unidade destinada ao ar condicionado foi selada e não conta com sistema de ventilação passiva.

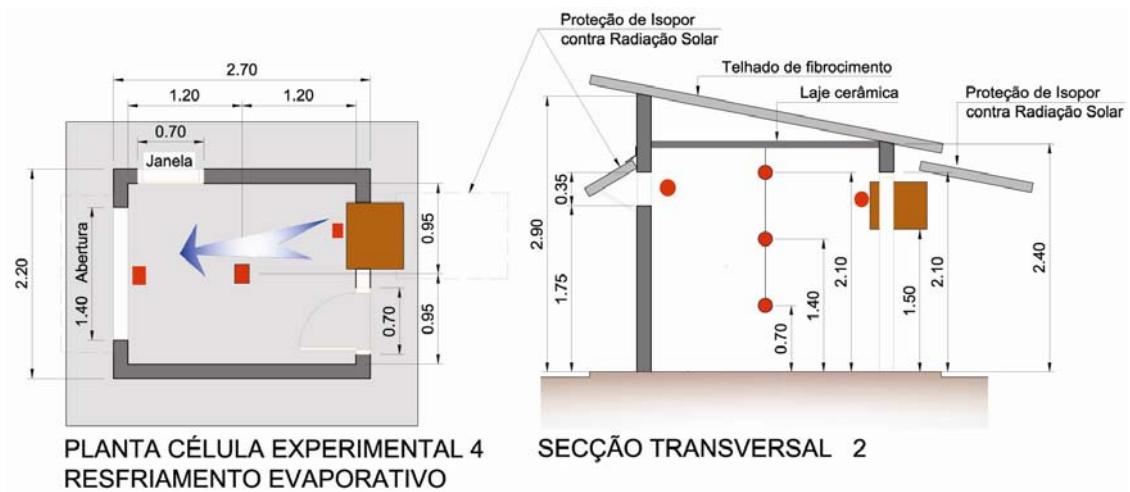


FIGURA 3. Instalação do aparelho de resfriamento evaporativo

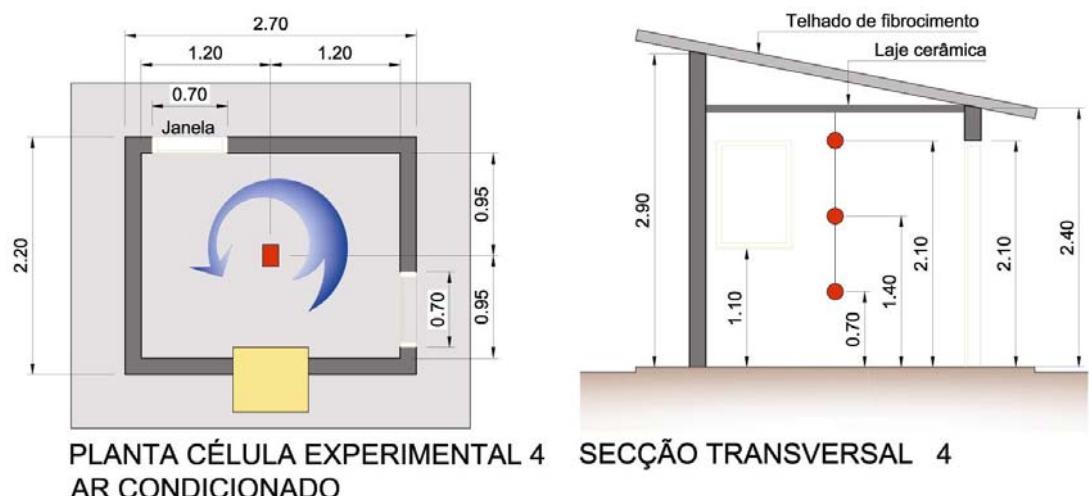


FIGURA 4. Instalação do aparelho condicionador de ar

LEGENDA

- Termopar
- Resfriador Evaporativo
- Condicionador de ar
- Telhado em fibrocimento
- Paredes em alvenaria de tijolo cerâmico maciço com pintura cor branca

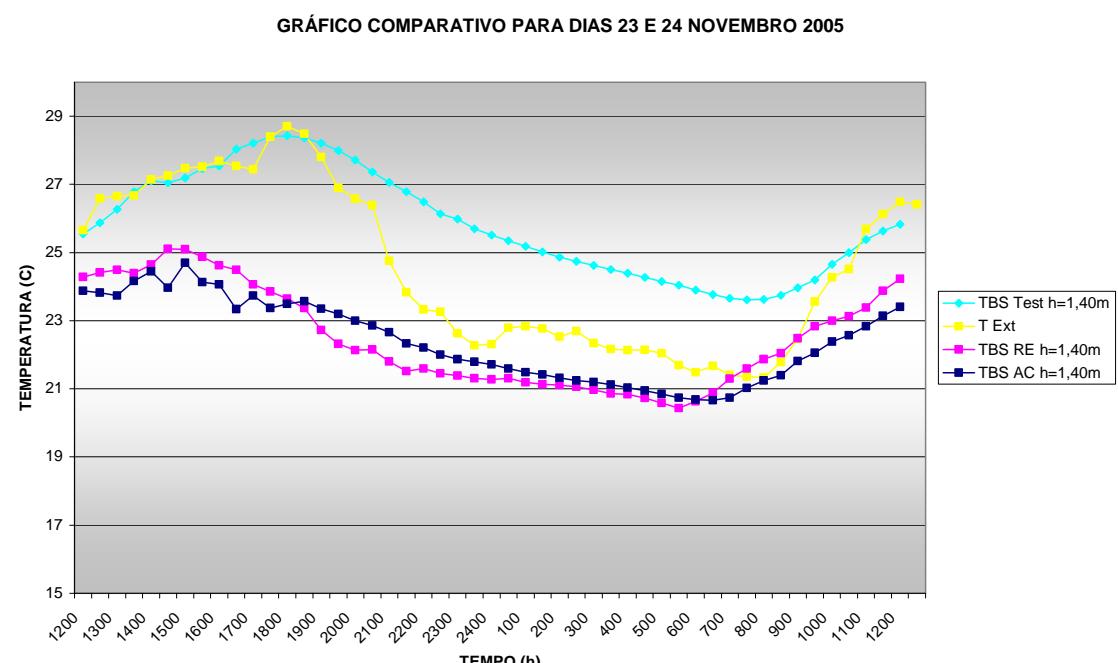
3.3. Equipamentos de Medição

A aquisição de dados no interior de cada célula é tomada automaticamente por meio de uma estação meteorológica *Datalogger CR10X Campbell Scientific*, utilizado para coleta e armazenamento de dados. Para registro das temperaturas são usados sensores termopares tipo T (*Cobre-Constantan*), que fazem a medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do interior das duas células. Os termopares foram posicionados no centro geométrico de cada unidade em três diferentes alturas, no entanto o trabalho apresenta apenas os resultados obtidos pelos termopares posicionados a 1,40 metro do piso.

O consumo de energia elétrica dos aparelhos foi medido separadamente por um relógio padrão de uso doméstico marca *Ericsson LM*, 220volts aferido pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) com marcador de energia em Kilowatt hora (KWh).

4. Resultados

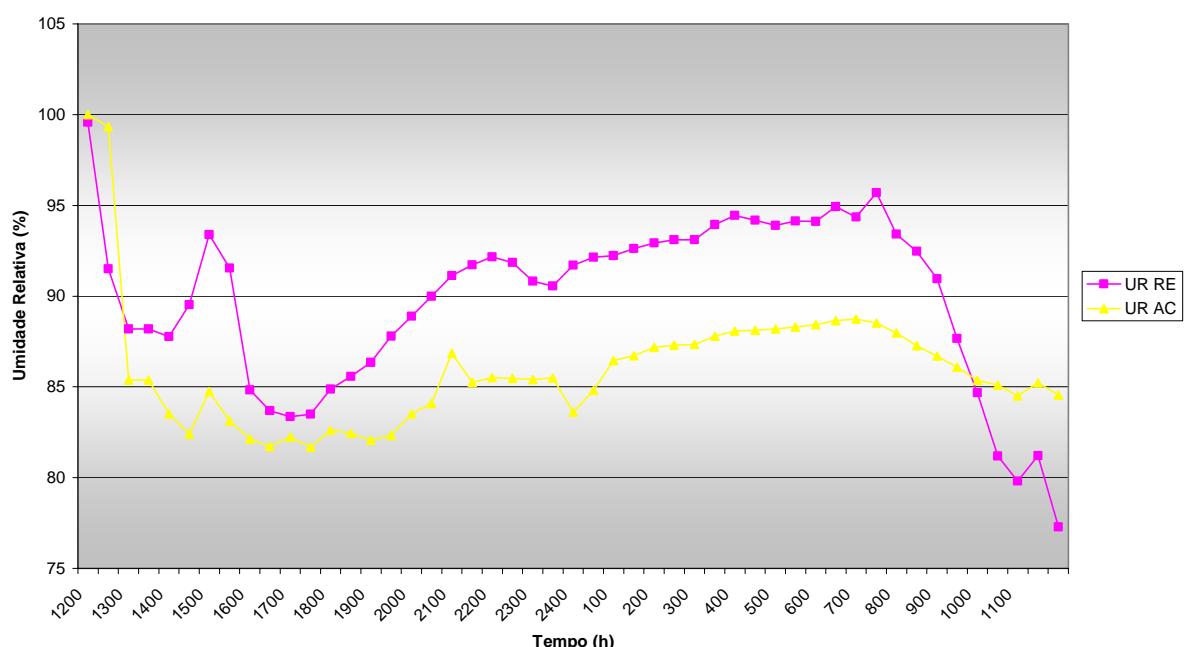
As velocidades de funcionamento dos aparelhos foram experimentalmente ajustadas para que as condições do ar interno das unidades experimentais obtivessem índices higrotérmicos semelhantes. Dessa maneira, foi possível comparar os resultados obtidos de consumo energético, de temperatura do ar e umidade relativa através da do desempenho de cada técnica sob as mesmas condicionantes ambientais.



O Gráfico 1 mostra que o comportamento da TBS do ar interno das duas unidades experimentais nas quais foram aplicados os sistemas de resfriamento apresentaram características semelhantes no período compreendido entre as 14 h do dia 23 até às 8 h do dia 24, sendo que na unidade com ar-condicionado foram registrados valores, no máximo, 1°C acima daqueles registrados na célula com resfriamento evaporativo. A diferença máxima de 1°C verificada de uma unidade para outra foi considerada desprezível por não ser percebida pelos sentidos humanos

Para que as temperaturas fossem mantidas em média próximas de 23°C no interior de cada unidade o aparelho de ar condicionado consumiu 141,6 Wh e o aparelho de resfriamento evaporativo, 116,6 KWh.. Ou seja, o aparelho condicionador de ar convencional consumiu 21,44% mais energia elétrica que o resfriador evaporativo.

GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE DIAS 23 E 24 NOVEMBRO 2005



5. Conclusões

A aplicação do resfriamento evaporativo se apresenta como alternativa viável para que os índices de temperatura e umidade relativa do ar permaneçam dentro dos limites de conforto ambiental em uma edificação situada na região de São Carlos.

Os recursos de aplicação de condicionadores de ar são nitidamente maiores que os do resfriamento evaporativo, porém, o consumo energético é demasiadamente elevado. Portanto, a aplicação de condicionamento de ar convencional deve ser mais criteriosa, ou seja, seu uso deve ser restrito apenas para ambientes que realmente necessitem de monitoramento constante dos índices de temperatura e umidade relativa do ar interno.

A técnica de resfriamento evaporativo aplicada atingiu índices adequados de conforto ambiental em períodos de climas quente e seco.. Além de contribuir para umidificar e renovar constantemente o ar interior da unidade experimental, pode melhorar as condições dos espaços de permanência humana com menor consumo de energia que o condicionador de ar convencional

6. Referências Bibliográficas

CPTEC. Previsão de tempo: Sudeste. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/progclima/dez2005.shtml>. Acesso em: 15 dez. 2005.

FATHY, H. **Vernacular architecture:** Principles and examples with references to hot arid climates. **Chicago:** The University of Chicago Press, 1986. 172 p.

VECCHIA, F. A. S. (1997). **Clima e ambiente construído:** a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. 1997. 316 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

7. Abreviações

TBS RE – Temperatura de bulbo seco do ar interno da célula experimental com resfriamento evaporativo.

TBS AC – Temperatura de bulbo seco do ar interno da célula experimental com ar condicionado.

TBS Test – Temperatura de bulbo seco do ar interno da célula experimental testemunho sem equipamento de resfriamento.

T Ext – Temperatura externa do ar (dada pela Estação Climática do CRHEA).

UR RE – Umidade relativa do ar interior da célula experimental com resfriamento evaporativo.

UR AC – Umidade relativa do ar interior da célula experimental com ar condicionado

8. Agradecimentos

Agradecimentos especiais aos funcionários do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) e ao CNPq.