



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL

Disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

LUANA CAMPOS DOS SANTOS

REDUÇÃO DE TEMPERATURA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE PRINCÍPIOS FÍSICOS EM COBOGÓS

CAMPINA GRANDE

Agosto/2017

LUANA CAMPOS DOS SANTOS

**REDUÇÃO DE TEMPERATURA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
PRINCÍPIOS FÍSICOS EM COBOGÓS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil. Área de
concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

CAMPINA GRANDE

Agosto/2017

ERRATA

SANTOS, Luana Campos. **Redução de temperatura através da aplicação de princípios físicos em cobogós**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) (Curso de graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

Página	Parágrafo	Linha	Onde se lê	Leia-se
IV	2	2 e 3	Resfriamento do vento: aplicação de princípios físicos em cobogós	Redução de temperatura através da aplicação de princípios físicos em cobogós

LUANA CAMPOS DOS SANTOS

**REDUÇÃO DE TEMPERATURA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
PRINCÍPIOS FÍSICOS EM COBOGÓS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

TCC defendido e aprovado em: _____ de _____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Examinador interno Prof. Dr. José Bezerra da Silva
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Examinador externo Prof. MSc. Rodrigo Mendes Patricio Chagas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, criador do universo. À minha mãe Maria de Lourdes Campos, maior exemplo de amor e força. Ao meu namorado Douglas Eduardo de Araújo Silva, por todo auxílio prestado e fundamental a conclusão deste trabalho. Aos meus irmãos Letícia, Luciana e Leandro e ao meu pai José Elias dos Santos, por todo o apoio.

AGRADECIMENTOS

A execução e conclusão deste trabalho foi possível graças à colaboração de pessoas que disponibilizaram seu tempo, conhecimento e experiência.

- Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida e por ter conseguido chegar até aqui;
- A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), muito obrigada pela honra de estar sendo formada como Engenheira Civil em uma instituição renomada.
- Ao professor Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho pela orientação, conselhos, atenção e profissionalismo prestados à realização deste trabalho.
- Ao professor M.Sc. Rodrigo Mendes Patricio Chagas, examinador externo da UFRN – Natal, pelas contribuições dadas com as correções e sugestões para aprimoramento do trabalho e disponibilidade de tempo para apreciá-lo.
- Ao professor Dr. José Bezerra da Silva, examinador interno da UFCG – Campina Grande, pelas observações e sugestões para enriquecimento do trabalho.
- Aos meus pais, Maria de Lourdes Campos e José Elias dos Santos por todo o apoio e incentivo, em especial à minha mãe por todo o esforço, garra e fé, pois só assim foi possível a realização do meu sonho.
- Aos meus irmãos Leticia Campos dos Santos, Luciana Campos dos Santos e Leandro Elias dos Santos bem como aos seus cônjuges e meus sobrinhos por toda ajuda e apoio direcionada a mim. Muito obrigada por todo carinho e preocupação.
- Ao meu namorado Douglas Eduardo de Araújo Silva, por todas as ideias, auxílio e apoio essenciais a conclusão deste trabalho; A sua família, Maria Linete e João de Araújo por todo o apoio prestado.
- Aos amigos que sempre estiveram dispostos a estender as mãos na hora das dificuldades. Obrigada aos meus amigos do curso que estiveram próximos durante esses anos de graduação, e também aos que estiveram distantes fisicamente, mas mesmo assim participaram da minha jornada.

PENSAMENTO

“Existe uma coisa que uma longa existência me ensinou: toda a nossa ciência, comparada à realidade, é primitiva e inocente; e, portanto, é o que temos de mais valioso.”

Albert Einstein

RESUMO

Temperaturas elevadas são frequentes em grande parte do Brasil, principalmente na região nordeste, mais especificamente no sertão nordestino. O desenvolvimento de um elemento sustentável capaz de amenizar elevadas temperaturas torna-se uma necessidade para os que possuem ou não energia elétrica, tornando-se uma alternativa mais econômica e ambientalmente harmoniosa. Na década de 1920 surgiram os cobogós que são elementos arquitetônicos empregados nas alvenarias que possibilitam a passagem de iluminação e ventilação, sendo elementos versáteis pois além de contribuir em conforto também favorecem a estética do ambiente. Para o presente trabalho deseja-se acrescentar aos cobogós a função de resfriar o vento que escoar através dele, por meio da aplicação de princípios físicos da termodinâmica e do resfriamento evaporativo, portanto a pesquisa objetiva criar cobogós capazes de resfriar o vento através da aplicação de princípios físicos. A criação do Eco cooler em Bangladesh serviu de inspiração no formato dos cobogós, e analisando-se a veracidade das informações fornecidas, por meio de pesquisas teóricas, revelou ser um bocal o formato ideal. O conceito de resfriamento evaporativo foi agregado ao elemento pensando-se no cobogó oco com formato de bocal, de tal forma que se possa abastecê-lo com água. Para verificação da diminuição da temperatura foram realizados experimentos com protótipos. Utilizou-se um ventilador e um secador de cabelo como simulador de vento, o fluxo de ar escoava do ambiente externo para o interno e perpendicular às peças no sentido da maior para a menor seção transversal. Com o uso do ventilador no cobogó obteve-se uma diminuição média de temperatura igual à 1,8 °C, com o ventilador nas garrafas obteve-se redução média de 0,47 °C e com o secador no cobogó resultou numa redução média de 5,33 °C.

Palavras-chave: Cobogós, Resfriamento do vento, Resfriamento evaporativo.

ABSTRACT

High temperatures are frequent in much of Brazil, mainly in the northeast region, more specifically in the northeastern backwoods. The development of a sustainable element capable of absorbing high temperatures becomes a necessity in places that do not have electricity, and for those that have more economical and environmentally harmonious alternative. In the 1920s came the “cobogós” that are architectural elements used in the masonry that enable the passage of lighting and ventilation, being versatile elements because the addition to contributing in comfort also favor the aesthetics of the environment. For the present work it is desired to add to the “cobogós” the function of cooling the wind that flows through it, using the application of physical principles of thermodynamics and evaporative cooling, so the objective research is to create “cobogós” able of cooling the wind through the application of Physical principles. The creation of Eco Cooler in Bangladesh was an inspiration in the format of the “cobogós”, and analyzing the veracity of the information provided, through theoretical research, proved to be a nozzle the ideal format. The concept of evaporative cooling was added to the element thinking in the empty cobogó in the shape of a nozzle, in such a way that it could be filled with water. To verify the temperature decrease, experiments with prototypes were carried out. A fan and hair dryer were used as a wind simulator, the air flow flowed from the external environment to the internal and perpendicular to the parts in the direction of the largest to the smallest cross section. With the use of the fan in the cobogó obtained a mean temperature decrease equal to 1.8 °C, with the fan in the bottles obtained a mean reduction of 0.47 °C and with the dryer in the cobogó resulted in an average reduction of 5.33 °C.

Keywords: Cobogos, Wind chill, Evaporative cooling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Peça de Cobogó.....	5
Figura 2: Cobogós instalados	5
Figura 3: Eco cooler	6
Figura 4: Esquema do experimento do Efeito Venturi.....	8
Figura 5: Princípio de Bernoulli.....	10
Figura 6: Sistemas de resfriamento evaporativo	16
Figura 7: Resfriamento evaporativo tipo umidificação	17
Figura 8: Sistema Ecooler	19
Figura 9: Diminuição da temperatura em função das variáveis umidade e temperatura do ar.....	20
Figura 10: Cobogó em argila (Vista frontal).....	23
Figura 11: Cobogó em argila (Vista posterior)	23
Figura 12: Cobogó em argila (Vista superior)	23
Figura 13: Garrafas “pets” cortadas e já instaladas na placa de gesso	24
Figura 14: Duas placas coladas.....	25
Figura 15: Placa com orifícios e garrafas	25
Figura 16: Arranjo das placas.....	25
Figura 17: Placa com entrada para cobogó	25
Figura 18: Vista do Interior do protótipo	26
Figura 19: Cobogó acoplado e cubo em gesso coberto	26
Figura 20: Sistema completo do experimento.....	27
Figura 21: Simulação do vento no cobogó.....	28
Figura 22: Simulação do vento nas garrafas pets	28
Figura 23: Medição de temperatura na face externa do cobogó	29
Figura 24: Água infiltrada na face interna do cone	29
Figura 25: Previsão linear da linha de tendência para a temperatura de 30°C	36
Figura 26: Arrefecimento da temperatura para a umidade de 70 % (Extrapolação da Tabela 2.1).....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Diminuição da temperatura em função das variáveis umidade e temperatura do ar.....	19
Tabela 4.1.1: Resumo de temperatura e umidade relativa do ar em Campina Grande nos dias de experimento.....	31
Tabela 4.1.2: Temperaturas ambientes no interior e exterior do sistema.....	31
Tabela 4.1.3: Distâncias entre saída de ar do ventilador e termômetro no interior e exterior do sistema para o cobogó.....	32
Tabela 4.1.4: Distâncias entre saída de ar do ventilador e termômetro no interior e exterior do sistema para a garrafa pet.....	32
Tabela 4.1.5: Distâncias entre saída de ar do secador e termômetro no interior e exterior do sistema para o cobogó.....	33
Tabela 4.1.6: Distância entre saída de ar do secador e termômetro no interior e exterior do sistema para as garrafas.....	33
Tabela 4.1.7: Redução de temperatura na utilização do ventilador nas garrafas pets ...	34
Tabela 4.1.8: Redução de temperatura na utilização do ventilador no cobogó.....	34
Tabela 4.1.9: Redução de temperatura na utilização do secador no cobogó.....	34
Tabela 4.1.10: Redução de temperatura na utilização do secador nas garrafas.....	35

LISTA DE SÍMBOLOS

Aceleração da gravidade (g)	m/s ²
Altura (h).....	m
Altura em relação a um referencial (z)	m
Área (A)	m ²
Energia (E)	kJ
Energia cinética (ec)	kJ
Energia de escoamento - pressão x volume (PV)	kJ
Energia interna (u)	kJ
Energia potencial (ep)	kJ
Energia total por unidade de massa (e) ou (θ).....	kJ/kg
Entalpia (h)	kJ
Fluxo de massa (m ['])	kg/s
Massa (m)	kg
Massa específica (ρ)	kg/m ³
Pressão (p).....	Pa
Taxa de energia (E ['])	kW
Taxa de energia em forma de calor (Q ['])	kW
Taxa de energia em forma de trabalho (W ['])	kW
Vazão (Q)	m ³ /s
Velocidade (v).....	m/s

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo geral.....	3
1.1.2 Objetivos específicos.....	3
1.2 Organização do trabalho	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 Cobogó.....	4
2.2 Eco cooler	5
2.3 Princípios físicos envolvidos	7
2.3.1 Temperatura e pressão.....	7
2.3.2 Efeito Venturi.....	7
2.3.3 Princípio e Equação de Bernoulli e equação da continuidade	8
2.3.4 Termodinâmica.....	11
2.4 Resfriamento evaporativo	15
2.4.1 Ecooler	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Materiais	21
3.2 Métodos	21
3.2.1 Descrição do método.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 Resultados.....	31
4.2 Discussões.....	35
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
5.1 Conclusões	40
5.1.1 Quanto à existência e valor da diminuição da temperatura.....	40

5.1.2 Influência do formato de bocal no resfriamento do ar por meio de garrafas “pets”	40
5.1.3 Verificação do resfriamento do ar utilizando as garrafas “pets” (bocal) e utilizando o cobogó em argila com água (bocal e resfriamento evaporativo)	40
5.1.5 Identificar a interferência das distâncias da saída de ar até o termômetro.	41
5.1.6 Contribuição para a diminuição do uso de equipamentos elétricos, que carregam exaustivamente o meio ambiente, expelindo gases nocivos à saúde.....	41
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	42
REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

O atual cenário mundial reflete as consequências das ações humanas nas mudanças climáticas, o crescimento populacional e exploração exacerbada de recursos naturais motivam a crise energética assim influenciando no desequilíbrio do planeta. De acordo com WWF (World Wide Fund for Nature) Brasil (2016 apud SANTOS, 2016), o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão das Nações Unidas que objetiva sintetizar e divulgar o conhecimento mais avançado sobre as mudanças climáticas, afirma que há 90% de certeza que o aumento de temperatura na Terra está sendo causado pela ação do homem. Diante da atual conjuntura, almejar o conceito de sustentabilidade torna-se elementar, assim consumir os recursos de forma racional respeitando as gerações futuras. Discutida com mais intensidade nas últimas décadas, a sustentabilidade mostra meios para um crescimento mais equilibrado e respeito ao meio ambiente.

Na indústria da construção civil nota-se a crescente busca pela diminuição de impactos ambientais, desde incrementos de novas leis até o incentivo de selos verdes voltados à um melhor uso dos recursos, traduzidos em eficiência energética. Mesmo com a tentativa de melhoria, o setor da construção civil é um dos que mais agride o meio, devido ao alto consumo dos recursos naturais, bem como de energia elétrica. Segundo Gauzin-Muller (2011, apud SANTOS, 2016), “as edificações consomem em torno de 50% dos recursos naturais, 40% da energia elétrica e 16% da água, além de produzirem mais resíduos de construção e de demolição do que o lixo doméstico”.

Nos projetos arquitetônicos procura-se o aproveitamento máximo dos recursos fornecidos pela natureza, como a ventilação natural, iluminação e acústica. Diminuindo assim o uso de equipamentos elétricos e consequente redução da utilização de energia elétrica. A arquitetura bioclimática procura integralizar com harmonia o ambiente e suas relações de trocas energéticas procurando oferecer conforto e diminuição considerável de energia elétrica, assim obtendo maior eficiência energética. (DELAQUA, 2015).

Para usufruir da ventilação e iluminação um elemento vazado foi criado na década de 1920 por engenheiros na cidade de Recife, tal elemento é conhecido como Cobogó devido as iniciais dos sobrenomes dos seus criadores. Normalmente são utilizados como complemento ou sendo a alvenaria em edificações, podendo estar presente em ambientes internos e externos.

Como os cobogós permitem a passagem do vento, foi verificado se o acréscimo de mais uma função seria possível, a de resfriar o ar. Um sistema de resfriamento de vento criado em Bangladesh que utiliza garrafas “pets” e papelão denominado “Eco cooler” mostra que resfriar o ar naturalmente é possível, apenas com o estreitamento do orifício por onde há a passagem do fluido. Assim após estudos teóricos acerca do assunto, foi estipulado que os cobogós seriam idealizados no formato de um bocal.

O aperfeiçoamento do sistema de resfriamento foi implementado através do princípio de resfriamento evaporativo. Consiste na utilização da evaporação da água através da passagem de um fluxo de ar, provocando a redução da temperatura do ar. Quanto mais elevada a temperatura e menor a umidade relativa do ar mais eficaz é a diminuição da temperatura no ambiente. Essas condições climáticas são encontradas na região semiárida brasileiro, existente numa grande área do sertão nordestino, é caracterizada por ser seca, quente, pouca variação de temperatura durante o ano e pouca quantidade de chuvas. Na zona rural, onde muitas vezes não há saneamento básico e/ou energia elétrica, a população sofre com as altas temperaturas e falta de água. Já na zona urbana a sensação térmica pode aumentar devido a formação de ilhas de calor.

O conceito de resfriamento evaporativo já é utilizado no sistema conhecido como “Ecooler”, no qual uma estrutura cerâmica oca é preenchida com água para que através dos poros do material a água infiltre até chegar ao meio externo e então evapore; assim a umidade é mantida no ambiente.

A necessidade de sistemas alternativos que diminuam o consumo de energia é evidente, principalmente da utilização de aparelhos de ar condicionados que além de possuírem alto consumo energético também, segundo o ministério do meio ambiente (“s.d.”), emitem gases causadores do efeito estufa. Tem ainda locais que não foram beneficiados com a energia elétrica, e portanto, não possuem alternativas para a diminuição do calor. Assim a criação de uma nova possibilidade poderá trazer benefícios mútuos.

Nesse sentido, este trabalho objetiva aperfeiçoar um cobogó capaz de resfriar o ar sem uso de energia elétrica, apenas com o aproveitamento da geometria do elemento vazado e do resfriamento evaporativo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Aperfeiçoar cobogós capazes de resfriar o ar, através da mudança na sua forma geométrica, aplicando princípios físicos e o conceito de resfriamento evaporativo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar se há diminuição de temperatura, e o quanto diminui;
- Analisar a influência do formato de bocal no resfriamento do ar por meio de garrafas “pets”;
- Verificar a diferença do resfriamento do ar utilizando as garrafas “pets” (bocal) e utilizando o cobogó em argila com água (bocal e resfriamento evaporativo);
- Verificar a diminuição de temperatura quando utilizando simuladores de vento diferentes (ventilador e secador) no cobogó;
- Identificar a interferência das distâncias da saída de ar até o termômetro;
- Contribuir para a diminuição do uso de equipamentos elétricos, que carregam exaustivamente o meio ambiente, expelindo gases nocivos à saúde.

1.2 Organização do trabalho

Este trabalho é composto por 5 (cinco) capítulos: capítulo 1 – Introdução; capítulo 2 – Fundamentação teórica; capítulo 3 – Materiais e métodos; capítulo 4 – resultados e análises e discussões e capítulo 5 – Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 1: Discorre sobre a introdução e objetivos, levando em consideração a importância do tema e algumas justificativas para a realização da pesquisa;

Capítulo 2: Tem por finalidade embasar o leitor acerca dos conhecimentos técnicos e físicos relacionados ao tema da pesquisa;

Capítulo 3: Descreve os materiais utilizados e os métodos de realização da pesquisa;

Capítulo 4: Mostra os resultados obtidos através dos experimentos realizados e discute pautado na fundamentação teórica;

Capítulo 5: Conclui-se a pesquisa de acordo com os objetivos específicos e sugere outras formas de metodologias para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cobogó

Os cobogós são elementos vazados que tem por função delimitar ambientes sem obstruir a passagem dos ventos e iluminação. Podem ser confeccionados com diversos tipos de materiais, tais como concreto, cerâmica, gesso, vidro, argamassa, entre outros. Geralmente são utilizados em fechamentos, como complemento de alvenaria ou sendo o próprio fechamento, é utilizado em ambientes externos e internos.

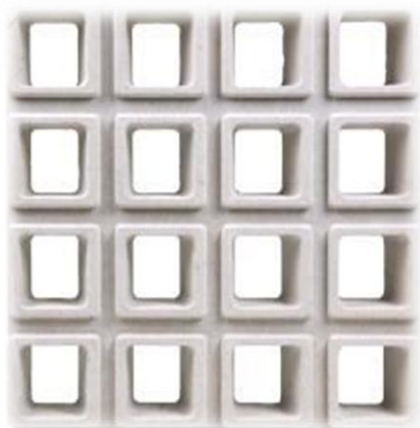
Com origem brasileira, mais especificamente pernambucana, segundo Santos (2016), os cobogós foram criados no município de Recife na década de 1920 por três engenheiros com nacionalidades diferentes, o português Amadeu Oliveira Coimbra, o alemão Ernesto August Boeckmann e o brasileiro Antônio de Góis; a palavra “cobogó” nasceu da união das primeiras sílabas dos sobrenomes dos seus mentores. Os três registraram a patente da invenção em 1929.

A utilização desse material é bastante difundida no meio da arquitetura, pois além de trazer benefícios de iluminação e ventilação, esteticamente proporciona beleza e requinte aos ambientes devido as suas vastas possibilidades de formas e relevos.

Os elementos vazados desenham à sombra nos pisos e paredes, um efeito que transforma todo o ambiente para quem o vê. Durante as estações e ao longo dos dias essa luz natural surge de diferentes formas como um componente que sobrevém na Arquitetura. No decorrer da noite, a luz artificial atravessa os pequenos vãos do interior para o exterior, tornando a arquitetura uma espécie de luminária urbana que interage com as sombras de seus usuários e mobiliário. Apesar de ser criado em Recife, o cobogó foi difundido por Lúcio Costa em referências sutis à arquitetura colonial, tornando-se um elemento compositivo presente na estética da arquitetura moderna brasileira. Apesar da permeabilidade visual, os cobogós, de certa forma, trazem privacidade ao usuário. (DELAQUA, 2015)

A nomenclatura do elemento vazado sofreu muitas variações no Nordeste brasileiro como Combobó, combogó, comogó, comongol e comogol, porém se trata da mesma invenção. Alguns exemplos de cobogós são mostrados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1: Peça de Cobogó



Fonte: <http://www.cobogosbrasil.com.br/>¹

Figura 2: Cobogós instalados



Fonte: <http://www.artmoldados.com.br/>²

2.2 Eco cooler

De acordo com o “site” The Uniplanet (2014), em alguns locais de Bangladesch os termômetros marcam temperaturas superiores à 45°C, para amenizar o sofrimento da população rural, que não possui eletricidade, foi criado um sistema que diminui a temperatura no interior das residências, o inventor Ashis Paul criou então o “Eco cooler”, concebido através de uma ideia simples. O Eco cooler pode ser fabricado com apenas dois componentes, garrafas “pet” e papelão, o que além de contribuir com a diminuição da temperatura incentiva a reciclagem dos materiais.

Segundo o “site” The Uniplanet (2014), durante três meses a empresa de Ashis Paul ajudou a instalar cerca de 25.000 “ecos coolers”. O inventor quis colocar sua ideia de “ar condicionado” sem eletricidade a disposição de todos, de forma a beneficiar várias pessoas.

A fabricação do “eco cooler” é simples, seguindo os seguintes passos é possível a fabricação de um exemplar:

1º passo: Corta-se uma prancha de papelão de forma a encaixar no espaço da janela na qual será instalado o Eco cooler;

¹ Disponível em:
<<http://www.cobogosbrasil.com.br/>> Acesso em mar. 2017.

² Disponível em:
<<http://www.artmoldados.com.br/>> Acesso em mar. 2017.

2º passo: Recortam-se círculos com as mesmas dimensões da garrafa “pet” no papelão, distribuídos uniformemente;

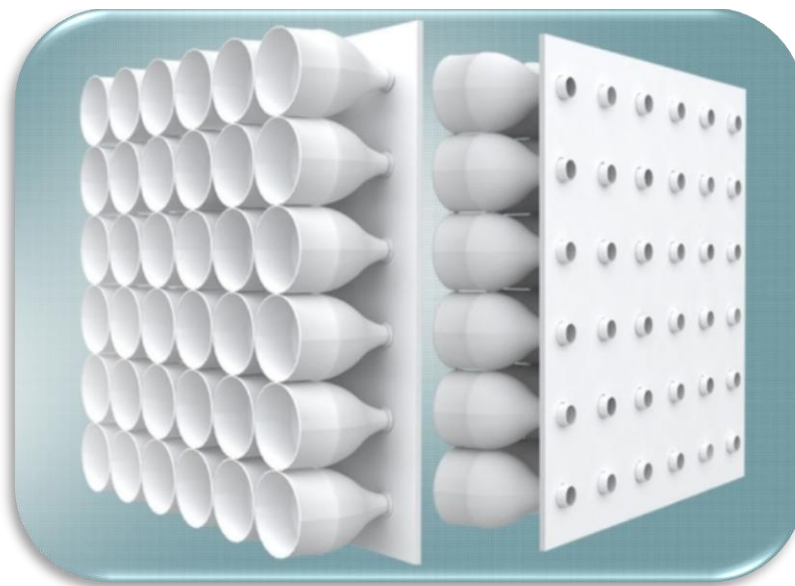
3º passo: Corta-se a garrafa, utilizando apenas a parte em formato de funil;

4º passo: Coloca-se a parte cortada da garrafa em formato de funil na prancha de papelão;

5º passo: Instala-se o “Eco cooler” na janela, de maneira que o ar escoe no sentido de maior para menor seção transversal. (THE UNIPLANET, 2014)

A principal causa da diminuição da temperatura é devido a diminuição da seção transversal no sentido do escoamento conseguido através da garrafa “pet”, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3: Eco cooler



Fonte: <http://www.theuniplanet.com/2016/06/aprenda-fazer-um-ar-condicionado-sem.html>³

³ Disponível em: < <http://www.theuniplanet.com/2016/06/aprenda-fazer-um-ar-condicionado-sem.html>>
Acesso em fev. 2017.

2.3 Princípios físicos envolvidos

2.3.1 Temperatura e pressão

Segundo Fernandes et al. (2006), a temperatura é uma grandeza que define o estado térmico de um corpo ou sistema. Microscopicamente falando é uma medida diferente da energia cinética média das moléculas. É através dessa grandeza que define-se os estados quente e frio, sendo o quente caracterizado como o corpo que possui maior agitação das moléculas.

Conforme afirma Feltre (1996), quanto menor a agitação das moléculas, menor a temperatura do gás, menor é o número de choques e a intensidade nas paredes de um recipiente, e assim menor é a pressão do gás. Quanto maior a temperatura a que o gás se encontra, maior a pressão do gás. Quando se aumenta significativamente a temperatura de um gás, mantendo constante o número de moléculas e o volume do recipiente a pressão do gás no interior do recipiente aumenta, podendo levar a ruptura do mesmo.

De acordo Guémez et al. (1998), quando as partículas se chocam, há permutação entre energia e impulso, com isso geralmente há modificação na velocidade das partículas. Quanto maior o número de choques das partículas do gás sobre uma superfície em um determinado intervalo de tempo, maior a pressão exercida pelo gás nessa superfície. Portanto a pressão está diretamente relacionada com o número de colisões.

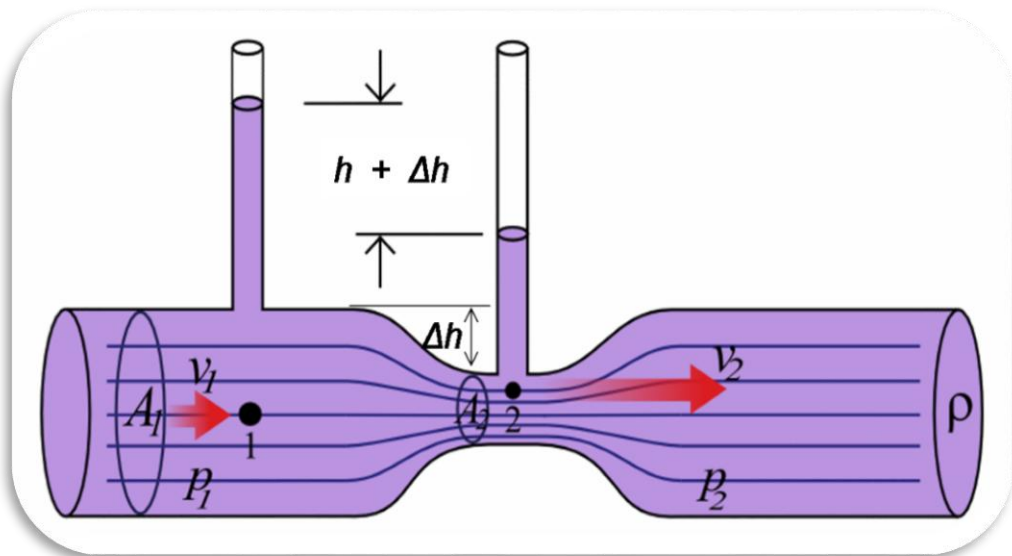
2.3.2 Efeito Venturi

De acordo com Nussenzeig (2002), o Efeito Venturi consiste em um sistema fechado, com o fluido em movimento constante dentro de um duto uniforme que se comprime momentaneamente ao encontrar um local estreito, assim diminuindo sua pressão e aumentando sua velocidade. O efeito Venturi é explicado pelos princípios de Bernoulli e o da continuidade, onde um fluido que se movimenta em uma seção constante estará com uma velocidade v_1 e quando a seção diminui a velocidade aumenta para v_2 após atravessar a menor seção. O teorema da conservação de energia explica que se a energia cinética aumenta, a energia determinada pelo valor da pressão diminui obrigatoriamente. Este antigo experimento mostrou que ao contrário do que se pensa,

quando há um fluxo com movimento constante atravessando um duto onde a seção transversal diminui no mesmo sentido, a pressão na seção mais estreita diminuirá.

A Figura 4 demonstra o esquema do experimento, onde percebe-se quais as variáveis envolvidas, A (área da seção transversal), v (velocidade do fluido) e P (pressão). Nota-se que as duas seções transversais A_1 e A_2 estão submetidas a pressão atmosférica e que em A_2 o fluido apresenta uma diminuição da pressão caracterizada através da diferença de altura ($h + \Delta h$).

Figura 4: Esquema do experimento do Efeito Venturi



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Venturi⁴

2.3.3 Princípio e Equação de Bernoulli e equação da continuidade

Segundo Halliday et al. (2009), o princípio de Bernoulli descreve o comportamento de um fluido movendo-se ao longo de uma linha de corrente e traduz para os fluidos o princípio da conservação da energia. Foi exposto por Daniel Bernoulli em sua obra Hidrodinâmica (1738) e expressa que num fluido ideal (sem viscosidade nem atrito) em regime de circulação por um conduto fechado, a energia que possui o fluido

⁴ Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Venturi > Acesso em jan. 2017.

permanece constante ao longo de seu percurso. A energia de um fluido em qualquer momento consta de três componentes:

1. Cinética: é a energia devida à velocidade que possui o fluido ($K = \frac{1}{2} v^2 \rho$)
2. Potencial gravitacional: é a energia devida à altitude que um fluido possui ($U = \rho gh$)
3. Energia de fluxo: é a energia que um fluido contém devido à pressão que possui (Pressão = F/A).

Matematicamente, pode-se escrever a equação de Bernoulli como:

$$\frac{1}{2} v^2 \rho + P + \rho gh = \text{const.} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

v = velocidade do fluido na seção considerada;

g = aceleração gravitacional;

h = altura desde uma cota de referência;

P = pressão ao longo da linha de corrente;

ρ = densidade do fluido.

Considerando a Figura 5, onde o fluido segue por um tubo que muda de diâmetro, pode-se escrever o princípio de Bernoulli como a equação 2:

$$\frac{1}{2} v^2_1 \rho + P_1 + \rho gh_1 = \frac{1}{2} v^2_2 \rho + P_2 + \rho gh_2 \quad \text{(Equação 2)}$$

Supondo fluido ideal e um fluxo $Q = Av$, em que uma linha de corrente é a trajetória de um elemento de volume do fluido. Enquanto esse elemento de volume move-se, ele pode variar a sua velocidade em módulo direção e sentido. O vetor velocidade será sempre tangente a linha de corrente. Uma consequência desta definição é que as linhas de corrente nunca se cruzam, pois caso o fizessem o elemento de volume poderia ter uma das duas velocidades com diferentes direções, simultaneamente. Em um escoamento pode-se isolar tubos de corrente, cujos limites são definidos por linhas de corrente. Tal tubo funciona como um cano, porque nenhuma partícula escapa através de suas paredes, pois justamente essas paredes definem as linhas de corrente. Considerando o tubo de corrente na Figura 5, onde o fluido se move da esquerda para a direita. O tubo tem seção transversal A_1 e A_2 , nas posições indicadas e velocidades v_1 e v_2 respectivas. Observa-se

durante um intervalo de tempo Δt o fluido que cruza a área A_1 . A massa de fluido que atravessa essa superfície neste intervalo é dado pela equação 3.

$$\Delta m_1 = \rho_1 \Delta V_1 = \rho_1 A_1 (v_1 \Delta t) \quad \text{Equação 3}$$

Como não existe fonte ou sorvedouro de massa entre A_1 e A_2 , essa mesma massa de fluido atravessará a superfície A_2 e será dado, nesse caso, pela equação 4.

$$\Delta m_2 = \rho_2 \Delta V_2 = \rho_2 A_2 (v_2 \Delta t) \quad \text{Equação 4}$$

Conclui-se conforme Equação 5 que:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad \text{Equação 5}$$

Ou seja: $\rho \cdot A \cdot v = \text{constante}$ ao longo de um tubo de corrente. A equação anterior é chamada de equação de continuidade para escoamento de fluidos.

Considerando que a densidade permanece constante, pode-se escrever a equação 6.

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{(Equação 6)}$$

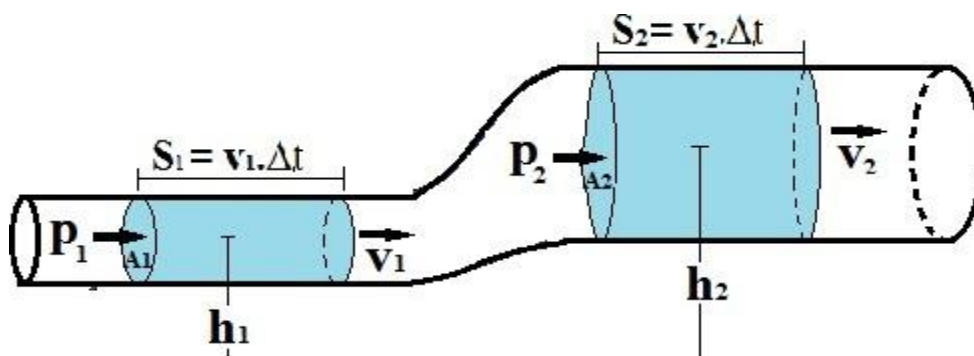
Onde:

Q = Vazão do fluido;

A = Área da seção transversal.

Ou seja se a área diminui a velocidade aumenta, e vice-versa.

Figura 5: Princípio de Bernoulli



Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/equacao-bernoulli.htm>⁵

⁵ Disponível em: < <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/equacao-bernoulli.htm> > Acesso em jan. 2017.

2.3.4 Termodinâmica

Termodinâmica é o ramo da física que rege as relações entre calor, trabalho e outras formas de energia, ou a transformação de um tipo de energia em outra.

Como explana Çengel e Boles (2013), a primeira Lei da termodinâmica, também conhecida como princípio da conservação da energia traz conhecimentos relativos as diversas formas e interações de energia. Revela que a energia não pode ser criada nem destruída durante um processo, ela pode apenas mudar de forma. Através da primeira Lei da termodinâmica surge o conceito de energia total, onde a energia total de um sistema adiabático é sempre constante. Assim um balanço de energia pode ser realizado no sistema através da equação 7:

$$E_{ent} - E_{sai} = \Delta E_{sistema} \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde,

E_{ent} = Energia total que entra no sistema;

E_{sai} = Energia total que sai do sistema;

$\Delta E_{sistema}$ = Variação de energia do sistema.

Na ausência de efeitos de natureza elétrica, magnética e tensão superficial, a variação de energia total de um sistema durante um processo é a soma das variações de sua energia interna, cinética e potencial.

A energia pode ser transferida por mecanismos de transferência de calor (Q), realização de trabalho (W) ou fluxo de massa (m). O calor transferido Q é zero para sistemas adiabáticos, o trabalho realizado W é zero para sistemas que não envolvem interações de trabalho, e a energia transportada com a massa E_{massa} é zero nos sistemas em que não há escoamento através de suas fronteiras. (ÇENGEL e BOLES, 2013).

Como existe a conservação da energia, existe também a conservação de massa, portanto a massa é conservada durante um processo. Em volumes de controle a massa pode atravessar fronteiras e deve-se levar em consideração a quantidade de massa que entra e sai do volume de controle. O princípio da conservação de massa pode ser descrito como na equação 8:

$$m_{ent} - m_{sai} = \Delta m_{VC} \quad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

m_{ent} = Massa total que entra no volume de controle durante um intervalo de tempo;

m_{sai} = Massa total que sai no volume de controle durante um intervalo de tempo;

Δm_{VC} = Variação líquida da massa dentro do volume de controle durante um intervalo de tempo.

Para fazer o balanço de massa para processos com escoamento em regime permanente, considera-se que a quantidade total de massa contida dentro de um volume de controle não muda com o tempo. Assim utilizando o conceito de fluxo de massa (quantidade de massa que escoar por unidade de tempo), o escoamento em regime permanente pode ser expresso como mostra a equação 9:

$$\sum_{ent} \dot{m} = \sum_{sai} \dot{m} \quad (kg/s) \quad \text{(Equação 9)}$$

Onde:

$\sum_{ent} \dot{m}$ = Taxa total da massa que entra no volume de controle;

$\sum_{sai} \dot{m}$ = Taxa total com que a massa sai do volume de controle.

A energia total de um fluido em escoamento pode ser determinada por três tipos de energia: as energias interna, cinética e potencial como mostra a equação 10.

$$e = u + ec + ep = u + \frac{v^2}{2} + gz \quad (kJ/kg) \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

V = velocidade;

z = altura do sistema em relação a um referencial;

u = energia interna;

ec = energia cinética;

ep = energia potencial;

g = aceleração da gravidade.

Ainda explicitado por Çengel e Boles (2013), um fluido que entra e sai de um volume de controle possui uma forma adicional de energia, a energia de escoamento (Pv), assim a energia total por unidade de massa de um fluido escoando (θ) é mostrado na equação 11:

$$\theta = Pv + u + ec + ep \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

Pv = Pressão x volume (energia de escoamento)

Como $Pv + u$ = entalpia (h), a equação 9 pode ser escrita como a equação 12:

$$\theta = h + ec + ep = h + \frac{v^2}{2} + gz \quad (kj/kg) \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde, h = Entalpia

A quantidade de energia transportada é definida na equação 13:

$$E_{massa} = m\theta = m \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (kj) \quad \text{(Equação 13)}$$

Onde:

m = massa

A taxa de transporte de energia é definida na equação 14:

$$E'_{massa} = m'\theta = m' \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (kW) \quad \text{(Equação 14)}$$

Onde:

m' = Fluxo de massa

Analisando a energia em sistemas sob regime permanente, que é o caso que se aplica o escoamento através do cobogó, nota-se que vários dispositivos de engenharia operam sob o regime permanente, como é o caso dos bocais, dispositivo que aumenta a velocidade de um fluido à custa da pressão onde a seção transversal diminui na direção do fluxo. (ÇENGEL e BOLES, 2013).

Durante um processo com regime permanente, nenhuma propriedade intensiva ou extensiva dentro do volume de controle muda com o tempo. Então o volume (v), a massa (m) e o conteúdo de energia total (E) do volume de controle permanecem constantes. O trabalho de fronteira é zero e a massa ou a energia total que entra no volume de controle deve ser igual a massa ou a energia total que sai.

As propriedades do fluido em uma entrada ou saída permanecem constantes durante um processo com escoamento em regime permanente. As propriedades podem, entretanto, ser diferentes em entradas e saídas diferentes. Elas podem até mesmo variar na seção transversal de uma entrada ou de uma saída. (ÇENGEL e BOLES, 2013).

O balanço de massa aplicado a um volume de controle com escoamento em regime permanente, com uma corrente única (uma entrada e uma saída) é dado pela equação 15:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \quad \text{(Equação 15)}$$

Onde:

ρ = densidade do fluido;

V = velocidade;

A = área da seção transversal.

A quantidade de energia que entra em um volume de controle sob todas as formas deve ser igual à quantidade de energia que deixa o volume de controle. Na forma de taxa, o balanço aplicado a um processo em regime permanente é dado pela equação 16:

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sai} \quad (kW) \quad \text{(Equação 16)}$$

Onde:

\dot{E}_{ent} = Taxa de energia líquida transferida por calor, trabalho e massa;

\dot{E}_{sai} = Taxa da variação das energias interna, cinética, potencial, etc.

Como a energia pode ser transferida apenas por calor, trabalho e fluxo de massa, o balanço da energia aplicado a um volume de controle com escoamento em regime permanente pode ser escrito como na equação 17:

$$\dot{Q}_{ent} + \dot{W}_{ent} + \sum_{ent} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_{sai} + \dot{W}_{sai} + \sum_{sai} \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad \text{(Equação 17)}$$

Onde:

\dot{Q} = Taxa de energia em forma de calor;

\dot{W} = Taxa de energia em forma de trabalho

Utilizando as equações 15, 16 e 17 associado a utilização de tabelas em que a temperatura varia em função da variação das pressões e entalpias aplicado a um bocal, e considerando a conversão de energia interna em energia cinética, percebe-se que a temperatura diminui no sentido do escoamento.

As equações que foram trabalhadas neste tópico visam explicar a diminuição de temperatura, não serão utilizadas nesta pesquisa para resultados numéricos.

2.4 Resfriamento evaporativo

Segundo Bastos (2011), o resfriamento evaporativo utiliza fenômenos de interação entre água e ar úmido insaturados. O calor é transferido do fluido de maior temperatura para o de menor temperatura. Tal processo só é possível devido a relação existente entre a transferência de calor e a transferência de massa. O ar transmite seu calor para a água durante a evaporação, e o calor é retirado do vapor d'água na condensação. O contato livre entre água e ar favorece um estado de equilíbrio, onde normalmente o ar encontra-se saturado. Assim quanto maior a temperatura do ar, maior é a quantidade de vapor d'água no ar necessária para saturá-lo

O resfriamento evaporativo consiste então na diminuição da temperatura do ambiente através da evaporação da água.

A evaporação da água pode reduzir a temperatura e simultaneamente aumentar a umidade relativa de um ambiente. Um exemplo deste recurso é a típica fonte de pátios árabes. Em épocas quentes e secas também a vegetação permite otimizar as condições de conforto por resfriamento evaporativo (evapotranspiração vegetal). Com o resfriamento direto dos espaços interiores, através da evaporação se requer boa taxa de ventilação para evitar o acúmulo de vapor de água. (LAMBERTS et al., 2012)

O sistema de resfriamento evaporativo tem como vantagens o baixo consumo de energia, facilidades de manutenção, instalação e operação. Por não utilizar gases CFC (Clorofluorcarbono) ou HFC (Hidrofluorcarbono) não agride o meio ambiente. Por ser um sistema que opera com renovação total do ar, elimina-se a recirculação e a proliferação de fungos e bactérias, problema constante nos sistemas convencionais de condicionamento de ar. (CAMARGO, 2003).

A velocidade da evaporação estabelece o quanto a temperatura vai baixar, a velocidade de evaporação é diretamente proporcional à queda de temperatura. A taxa de evaporação é diretamente proporcional a área superficial molhada e a velocidade do ar, e inversamente proporcional a umidade relativa do ar.

Segundo Bastos (2011), existem dois tipos de resfriamento evaporativo, o direto e o indireto. Conforme descrito a seguir:

- **Resfriamento evaporativo direto:** O processo de resfriamento evaporativo direto ocorre quando água líquida entra em contato com o ar de alimentação a ser inserido no ambiente a ser climatizado. O calor

sensível presente no ar de alimentação evapora a água líquida, e como resultado tem-se a redução da temperatura do ar e aumento da sua umidade. O processo de evaporação continua até que o ar esteja saturado e a mistura ar vapor entre em equilíbrio;

- **Resfriamento evaporativo indireto:** O resfriamento evaporativo indireto envolve duas correntes de ar que passam pelo trocador de calor simultaneamente, mas sem entrar em contato um com o outro. No evaporativo indireto, o ar principal e o ar secundário entram nas mesmas condições, porém seguem caminhos diferentes. O ar principal é resfriado e entra nos ambientes que necessitam de climatização.

A Figura 6 demonstra a diferença entre resfriamento evaporativo direto e resfriamento evaporativo indireto.



Fonte: http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_TCC_002_2011.pdf⁶

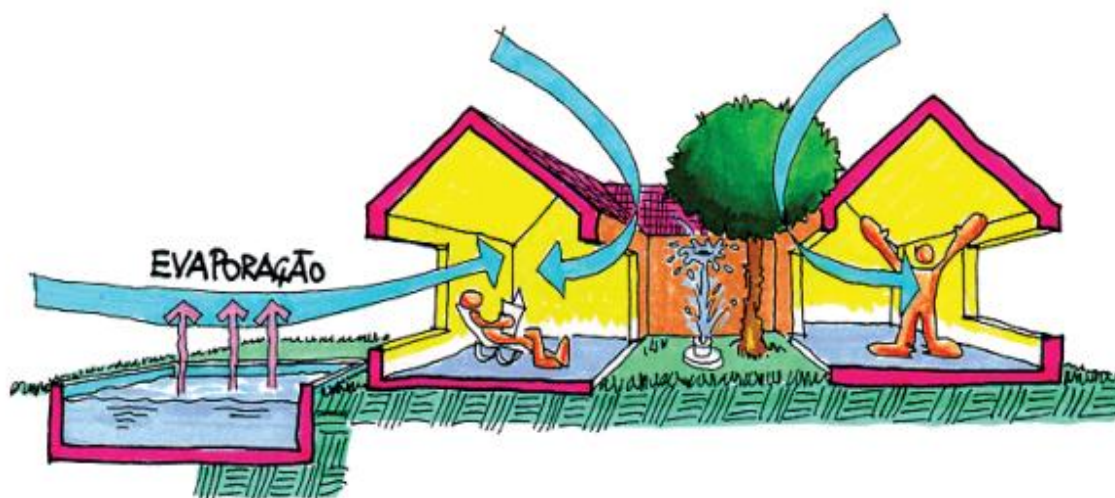
Percebe-se que no resfriamento evaporativo direto o ar entra em contato direto com a água em uma única corrente de ar para que o processo de resfriamento seja realizado, e esta é a situação em que está inserido o cobogó.

Existem diversos tipos de resfriamento evaporativos, como exemplo a umidificação que segundo Lamberts et al. (2012), lugares em que a umidade relativa do ar é muito baixa (menor que 20%), o ar seco pode causar desconforto. Nesses casos é

⁶ Disponível em: < http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2011/Artigos/Art_TCC_002_2011.pdf > Acesso em mar. 2017.

possível umidificar o ar através da evaporação da água de fontes ou espelho d'água próximos às edificações. A Figura 7 demonstra o resfriamento evaporativo tipo umidificação, onde o usuário usufrui de um maior conforto devido a umidificação de ambientes secos bem como do resfriamento de ambientes com temperaturas mais elevadas.

Figura 7: Resfriamento evaporativo tipo umidificação



Fonte: <http://www.mme.gov.br/documents/7>

2.4.1 Ecooler

O sistema denominado Ecooler é formado por telhas cerâmicas ocas, preenchidas com água. A água infiltra através dos poros da cerâmica em direção ao ambiente externo, assim quando atinge a superfície é evaporada fornecendo o frescor provindo do conceito do resfriamento evaporativo. O sistema mantém a umidade, acionando um fluxo de água na residência onde está inserida.

O sistema Ecooler é construído de unidades modulares básicas que se interligam através de um conector. O módulo é um tipo de telha estreita, tridimensional feita da tubulação de cerâmica oca, torcendo que pode prender a água. Ao conectar os módulos um ao outro, é criada uma tela. A ligação

⁷ Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf> > Acesso em mar. 2017.

permite a passagem de água entre os módulos e deste modo, pode-se encher toda a tela com água num sistema fechado. (ECOOLER, [201-?]).

Pode ser usado em espaços públicos ou privados, em áreas internas ou externas que se juntam ao interior. Sua eficiência será maior quando o vento escoar através da tela, e assim é recomendado instalá-lo em ambientes abertos ou até ao lado de um ventilador. Quanto maior a rede, maior será o conforto gerado pelo resfriamento. Como qualquer outro sistema de resfriamento evaporativo é ideal para ser instalado em locais secos.

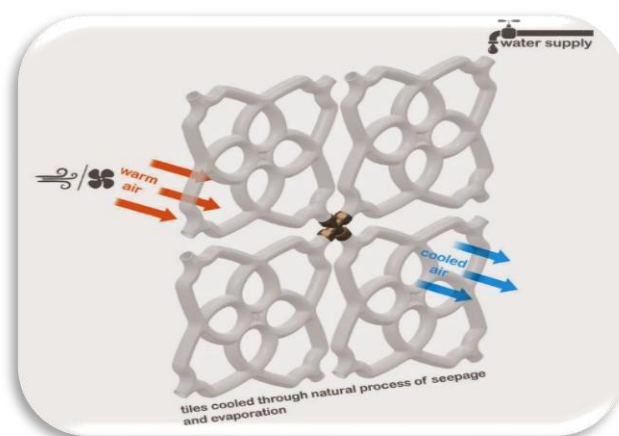
De acordo com o site ECOOLER [201-?], uma explicação bem simples do princípio de funcionamento pode ser expresso ao se fazer uma analogia com o corpo humano, pois quando transpira-se e o ar entra em contato com os corpos, parte da transpiração se evapora. Este processo de evaporação transforma a transpiração de um fluido em vapor (gás) que consome energia (calor). Este calor é removido da pele e aprecia-se uma sensação de resfriamento. No Ecooler as superfícies úmidas das telhas representam a pele do corpo humano, a água representa a transpiração e a tela permite que o vento escoe por ela. O processo de evaporação arrefece o ar que será enviado através e para fora do espaço, substituindo o ar quente. A velocidade do vento irá aumentar a oferta de frieza para o ambiente.

Em relação a quantidade de água necessária para abastecer o Ecooler, vai depender da temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Os tempos de secagem ou esvaziamento do Ecooler são influenciados pela temperatura do ar, quantidade de umidade no ar e velocidade do vento. Podemos controlar os tempos de secagem através do tipo de argila e da temperatura de queima do forno. Cada ladrilho contém aproximadamente 550 ml de água e, em média, cerca de metade deste é esvaziado por dia. Por exemplo, em um sistema de 35 telhas, você terá uma capacidade para 19 litros de água. Encher a parede no final do dia vai consumir aproximadamente 9,5 litros de água - esta é quase a mesma quantidade de água utilizada quando limpar o vaso sanitário uma vez. (ECOOLER, [201-?]).

Cada peça do Ecooler possui 33 x 33 cm e 2,7 cm de profundidade. É bastante flexível em relação quantidade de peças a instalar, as conexões são simples podendo-se colocar e retirar peças com facilidade. Há duas opções para abastecer as peças com água, uma com um sistema de enchimento automático e outra manual. A Figura 8 exemplifica o formato do Ecooler e seu funcionamento.

Figura 8: Sistema Ecooler



Fonte: <http://ecooler.yolasite.com/how.php>⁸

Através da Figura 8 nota-se que as peças são interligadas através de conectores, o que permite a passagem da água para as outras peças, por ser confeccionada com argila a água atravessa através dos poros permeáveis, após atravessar a “barreira” a água entra em contato com o ar assim ocasionado o fenômeno da evaporação que associado com o vento leva o frescor para o ambiente onde está inserida as peças.

A capacidade de resfriamento é imposta por duas variáveis, a temperatura e o nível de umidade do ambiente. A tabela 1 mostra como a variação de temperatura se comporta de acordo com as variáveis estabelecidas. Para facilitar o entendimento um exemplo seria quando a temperatura do ar fosse 40 ° C e a percentagem de umidade fosse particularmente baixa (20%) neste caso, o sistema poderia arrefecer o ambiente em cerca de 17 ° C.

Tabela 2.1: Diminuição da temperatura em função das variáveis umidade e temperatura do ar.

Temperatura exterior	Umidade relativa do ambiente (%)								
	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
Temperatura em °C após arrefecimento									
30	16,4	17,3	17,9	18,8	19,8	20,5	22,4	22,2	22,9
35	19,8	20,4	21,7	22,8	23,8	24,8	25,7	26,5	27,5
40	23,4	24,1	25,4	26,7	27,8	29	29	30,9	31,9

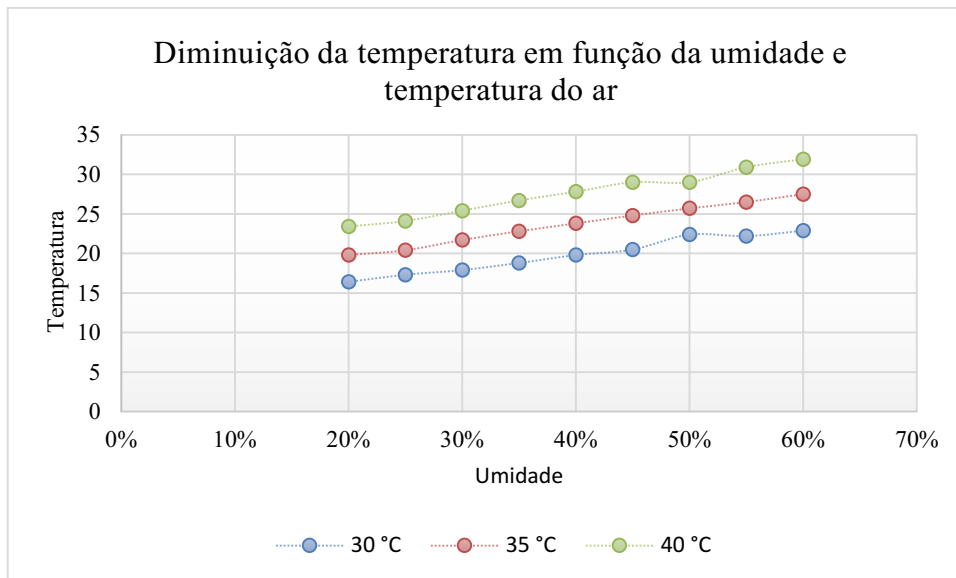
Fonte: <http://ecooler.yolasite.com/how.php>⁹

⁸ Disponível em: < <http://ecooler.yolasite.com/how.php> > Acesso em mar. 2017.

⁹ Disponível em: < <http://ecooler.yolasite.com/how.php> > Acesso em mar. 2017.

A Tabela 1 traduz o quanto a temperatura diminui após a submissão de um sistema ao conceito de resfriamento evaporativo de acordo com a temperatura do ar e umidade relativa do ambiente. Os resultados da Tabela 2.1 foram plotados na Figura 9 para uma melhor visualização.

Figura 9: Diminuição da temperatura em função das variáveis umidade e temperatura do ar.



3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritos os materiais e métodos utilizados.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para desenvolvimento da pesquisa foram os seguintes:

- Água;
- Argila;
- Cola de gesso;
- Cronômetro;
- Faca;
- Furadeira;
- Garrafas PET;
- Placas de gesso com dimensões retangulares de 0,46 m x 0,96 m;
- Secador de cabelo Daihatsu; modelo Taiff MP16000 Professional; 240 Volts; 1800 W e 60 Hz;
- Termômetro de mercúrio com graduação de 10°C à 210 °C e escala de 1°C;
- Tesoura;
- Ventilador Arno Alívio com três pás; modelo: VE30-NE Série: 24/13;220 V; 60 Hz e 55 W.

3.2 Métodos

Os métodos utilizados para realização da pesquisa foram idealizados a partir de fontes bibliográficas e experimentais. Trata-se de uma pesquisa experimental, que visa aprofundar-se nos conteúdos relacionados a termodinâmica e resfriamento evaporativo por meio da bibliografia e experimentos.

Os resultados foram analisados de maneira quantitativa, fundamentado em dados numéricos através de experimentos. Houve observação da medida da temperatura na entrada e saída do cobogó e garrafas.

3.2.1 Descrição do método

O protótipos dos cobogós foram desenvolvidos com os dois princípios envolvidos, primeiro o formato de bocal e segundo o bocal com capacidade de armazenamento de água para utilização do conceito de resfriamento evaporativo. No primeiro o formato de bocal foi conseguido através de garrafas “pets” cortadas. Foram coletadas 16 garrafas “pets” e cortadas com auxílio da tesoura no formato de bocal, as dimensões desse bocal são de 12 cm de profundidade, o diâmetro da maior seção transversal de 11 cm e o da menor seção transversal de 2,5 cm. O segundo foi confeccionado com argila que foi trabalhada de forma a armazenar água e permitir a infiltração em locais específicos. O cone fabricado em argila é mais poroso que as demais partes da peça facilitando assim a passagem da água. Foi utilizado argila devido a sua capacidade de quando misturada com outras granulometrias tornar-se mais permeável possibilitando a penetração da água. O tempo de infiltração é diretamente proporcional a permeabilidade da argila. O cobogó em argila apresenta dimensões de 0,18m x 0,18m x 0,15 m, e o cone interno com diâmetro menor de 2,5 cm e diâmetro maior de 11 cm e 1,5 cm de espessura; a medida da espessura do cobogó da região cúbica foi escolhida devido a semelhança com a espessura da alvenaria acabada (apresentando chapisco, emboço, reboco e revestimento) e da área (18 x 18cm) pela semelhança com blocos usuais de alvenaria; as medidas do cone da seção transversal de entrada e saída de ar foram escolhidas devido a semelhança com as medidas dos bocais em garrafas “pets”. O volume de armazenamento de água é de aproximadamente 2,3 litros.

A escolha da argila como material para fabricação do cobogó foi devido à sua alta resistência após a queima, e capacidade de modificação da permeabilidade; a resistência era necessária por se tratar de uma material de construção civil que necessita suportar cargas como telhados ou blocos de alvenaria e a capacidade de modificação da permeabilidade devido a ser um material que armazenaria água e não deveria permitir a passagem da mesma em locais indesejados; ao mesmo tempo era preciso uma maior permeabilidade no bocal do cobogó, pois a água deveria infiltrar e atravessar a parede do mesmo.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 apresentam o modelo do cobogó em argila e das garrafas “pets” cortadas.

Figura 10: Cobogó em argila)
(Vista Frontal)



Figura 11: Cobogó em argila
(Vista posterior)



Figura 12: Cobogó em argila (vista superior)

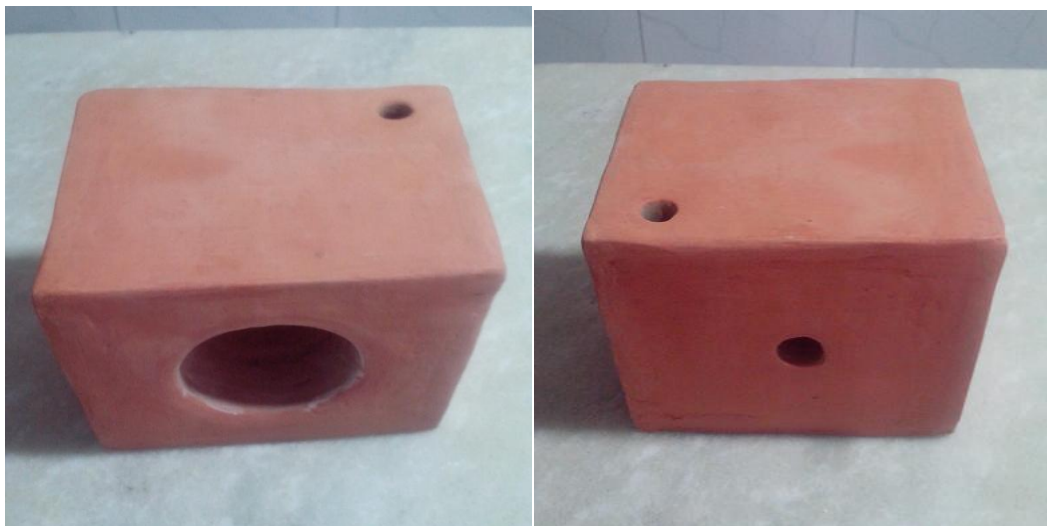


Figura 13: Garrafas “pets” cortadas e já instaladas na placa de gesso



Na Figura 12 mostra o furo deixado na parte superior do cobogó para colocação da água.

Para a fabricação do protótipo do sistema em forma de cubo foram utilizadas placas de gesso. A escolha do gesso como material de fabricação do protótipo do sistema foi devido a sua capacidade de isolamento térmico. O cubo possui dimensões externa de 1m x 1m x 1m. Foram utilizadas 10 placas de gesso com dimensões de 0,46 m de largura e 0,96 m de altura, no piso do sistema não foram colocadas placas de gesso, essas placas foram coladas com cola de gesso duas a duas formando uma única placa; foram feitos 16 orifícios equidistantes 13,5 cm um do outro, nas placas de gesso. Nos orifícios foram inseridas 16 garrafas “pets” já cortadas, de forma que o ar fosse capaz de escoar do ambiente externo para o interior do cubo. Outra placa foi furada para colocação do cobogó em argila. As Figuras 14, 15, 16, 17 e 18 mostram o arranjo do protótipo.

Figura 14: Duas placas coladas

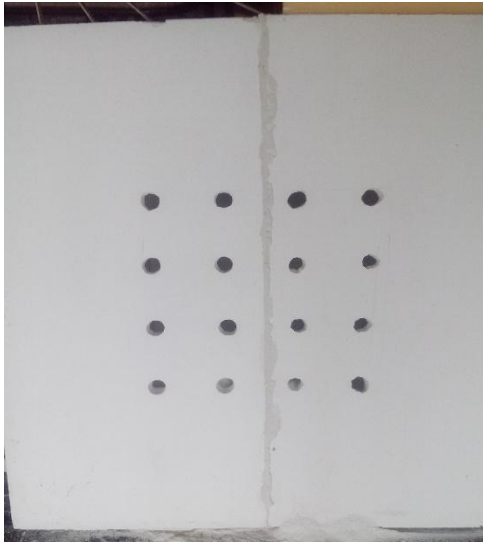


Figura 15: Placa com orifícios e garrafas



Figura 16: Arranjo das placas



Figura 17: Placa com entrada para cobogó



Figura 18: Vista do Interior do protótipo



O cobogó em argila foi acoplado à placa com auxílio da cola de gesso, e a parte superior do cubo foi fechada com uma placa contendo uma abertura para facilitar a leitura da temperatura, como ilustra a Figura 19.

Figura 19: Cobogó acoplado e cubo em gesso coberto



A Figura 20 representa o sistema de experimento completo.

Figura 20: Sistema completo do experimento



Os experimentos foram realizados nos dias 09, 10, 11, 21, 22, 23, 24 e 25 de agosto de 2017 no período das 14:00 às 17:00 horas no Laboratório de Estruturas (Bloco CW) da Universidade Federal de Campina Grande, campus de Campina Grande. As condições climáticas de umidade relativa do ar e temperatura foram retiradas do site Clima tempo. As temperaturas foram reafirmadas com utilização do termômetro fora do sistema e sem a utilização dos simuladores de vento. De início foram medidas as temperaturas externas e internas ao sistema.

Foi ligado o ventilador no ambiente externo para reproduzir o vento. Com o auxílio do termômetro foi analisado a mudança de temperatura do exterior para o interior do cubo de gesso. Esse procedimento foi feito tanto para o cobogó em argila como para as garrafas “pets”. As Figuras 21 e 22 ilustram a montagem do experimento para o método empregado.

Figura 21: Simulação do vento no cobogó



Figura 22: Simulação do vento nas garrafas pets



A medição da temperatura deu-se colocando-se o termômetro na face exterior do cobogó em frente a maior abertura da seção transversal, esperando-se até que a temperatura estabilizasse. Em seguida colocava-se o termômetro dentro do cubo na saída de ar da menor abertura da seção transversal, esperando-se a temperatura estabilizar e anotando-a. Conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23: Medição de temperatura na face externa do cobogó



Após o experimento com o ventilador, ligou-se o secador de cabelo para simular o vento quente, e então com o termômetro observou-se a mudança de temperatura. Esse procedimento foi feito tanto nas garrafas quanto no cobogó. No caso do cobogó foi necessário que a água estivesse percolando entre as paredes do cone, para que ocorresse a evaporação da água e o efeito do resfriamento evaporativo. A Figura 23 ilustra a água percolada na face do cone (bocal).

Figura 24: Água infiltrada na face interna do cone



Durante a utilização do secador, foi necessário umidificar a face do cone com um pano molhado, pois como a temperatura era mais elevada a água evaporava muito rápido e não havia tempo para que o termômetro estabilizasse. Essa manipulação com o pano foi feita apenas na primeira semana, em que as temperaturas e velocidades de entrada do ar eram maiores; na segunda semana as temperaturas e velocidades diminuíram devido ao aumento das distâncias e não foi necessário o uso do pano, já que havia tempo para que o termômetro estabilizasse sem que a água fosse totalmente evaporada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados

A Tabela 4.1.1 mostra o resumo das temperaturas e umidades relativas do ar em Campina Grande nos dias e horários do experimento. Como os horários variaram das 14:00 às 17:00 horas pegou-se uma média das temperaturas e umidades relativas do ar entre esses horários.

Tabela 4.1.1: Resumo de temperatura e umidade relativa do ar em Campina Grande nos dias de experimento

Temperatura e umidade relativa - Campina Grande		
Data	Temperatura	Umidade relativa do ar
09/ago	27,0 °C	72%
10/ago	28,0 °C	68%
11/ago	27,5 °C	71%
21/ago	26,0 °C	71%
22/ago	26,0 °C	69%
23/ago	25,0 °C	74%
24/ago	26,5 °C	72%
25/ago	26,5 °C	75%

Fonte: <https://www.climatempo.com.br/>

No início do experimento foram medidas as temperaturas no interior e exterior do sistema. A tabela 4.1.2 mostra as temperaturas encontradas.

Tabela 4.1.2: Temperaturas ambientes no interior e exterior do sistema

Temperatura ambiente		
Data	Exterior	Interior
09/ago	27 °C	26,5 °C
10/ago	28 °C	27,5 °C
11/ago	27,5 °C	27,0 °C
21/ago	26,0 °C	25,5 °C
22/ago	26,1 °C	25,7 °C
23/ago	25,0 °C	24,6 °C
24/ago	26,2 °C	25,8 °C
25/ago	26,5 °C	26,0 °C

No experimento em que a simulação do ar foi feito com o ventilador e com o secador de cabelo foram anotadas as medidas das distâncias do ventilador e secador até o termômetro no interior e exterior do sistema.

As Tabelas 4.1.3; 4.1.4; 4.1.5 e 4.1.6 mostram as distâncias entre a saídas de ar e o termômetro, no interior e exterior do sistema.

Tabela 4.1.3: Distâncias entre saída de ar do ventilador e termômetro no interior e exterior do sistema para o cobogó.

Cobogó/ Ventilador		
Distâncias da saída de ar até o termômetro		
Data	Exterior	Interior
09/ago	0,40 m	0,56 m
10/ago	0,55 m	0,71 m
11/ago	0,50 m	0,66 m
21/ago	0,60 m	0,76 m
22/ago	0,40 m	0,56 m
23/ago	0,40 m	0,56 m
24/ago	0,40 m	0,56 m
25/ago	0,40 m	0,56 m

Tabela 4.1.4: Distâncias entre saída de ar do ventilador e termômetro no interior e exterior do sistema para a garrafa pet.

Garrafas/ Ventilador		
Distâncias da saída de ar até o termômetro		
Data	Exterior	Interior
09/ago	0,50 m	0,62 m
10/ago	0,60 m	0,72 m
11/ago	0,65 m	0,77 m
21/ago	0,40 m	0,52 m
22/ago	0,40 m	0,52 m
23/ago	0,40 m	0,52 m
24/ago	0,40 m	0,52 m
25/ago	0,40 m	0,52 m

Tabela 4.1.5: Distâncias entre saída de ar do secador e termômetro no interior e exterior do sistema para o cobogó.

Cobogó/ Secador		
Distâncias da saída de ar até o termômetro		
Data	Exterior	Interior
09/ago	0,40 m	0,56 m
10/ago	0,50 m	0,66 m
11/ago	0,45 m	0,61 m
21/ago	0,40 m	0,56 m
22/ago	0,62 m	0,78 m
23/ago	0,62 m	0,78 m
24/ago	0,62 m	0,78 m
25/ago	0,62 m	0,78 m

Tabela 4.1.6: Distância entre saída de ar do secador e termômetro no interior e exterior do sistema para as garrafas

Garrafas/ Secador		
Distâncias da saída de ar até o termômetro		
21/ago	0,40 m	0,52 m
22/ago	0,40 m	0,52 m
23/ago	0,40 m	0,52 m
24/ago	0,40 m	0,52 m
25/ago	0,40 m	0,52 m

A tabela 4.1.6 mostra as distâncias apenas da segunda semana, pois os experimentos com o secador nas garrafas foram realizados somente nestes dias. Essas distâncias foram necessárias para verificação de suas influências sobre as temperaturas, pois quanto mais próximas as saídas de ar até o termômetro, maior será a velocidade do vento. Na primeira semana de experimento as distâncias foram aleatórias para investigação da sua influência sobre as temperaturas, já na segunda semana procurou-se manter as mesmas distâncias para uma comparação mais razoável.

Os resultados obtidos para as temperaturas no interior e exterior do sistema com utilização do ventilador para as garrafas “pets” e cobogó são mostradas nas Tabelas 4.1.7 e 4.1.8. Os valores das reduções de temperatura encontradas nos dois casos, considerando a temperatura ambiente existente no interior do sistema são encontradas nas mesmas tabelas.

Tabela 4.1.7: Redução de temperatura na utilização do ventilador nas garrafas pets

Temperatura - Garrafas/ Ventilador				
Data	Exterior	Interior	Interior/ ambiente	Redução
09/ago	26,7 ° C	26,1 ° C	26,5 ° C	0,4 ° C
10/ago	27,5 ° C	27,0 ° C	27,5 ° C	0,5 ° C
11/ago	27,0 ° C	26,5 ° C	27 ° C	0,5 ° C
21/ago	26,0 ° C	25,5 ° C	25,5 ° C	0,0 ° C
22/ago	26,1 ° C	25,5 ° C	25,7 ° C	0,2 ° C
23/ago	25,0 ° C	24,4 ° C	24,6 ° C	0,2 ° C
24/ago	26,0 ° C	25,8 ° C	25,8 ° C	0,0 ° C
25/ago	26,4 ° C	26 ° C	26,0 ° C	0,0 ° C

Tabela 4.1.8: Redução de temperatura na utilização do ventilador no cobogó

Temperatura - Cobogó/ Ventilador				
Data	Exterior	Interior	Interior/ ambiente	Redução
09/ago	26,9 ° C	25,0 ° C	26,5 ° C	1,5 ° C
10/ago	27,3 ° C	25,4 ° C	27,5 ° C	2,1 ° C
11/ago	27,0 ° C	25,2 ° C	27 ° C	1,8 ° C
21/ago	26,0 ° C	25,0 ° C	25,5 ° C	0,5 ° C
22/ago	26,0 ° C	25,0 ° C	25,7 ° C	0,7 ° C
23/ago	25,0 ° C	24,3 ° C	24,6 ° C	0,3 ° C
24/ago	25,9 ° C	24,7 ° C	25,8 ° C	1,1 ° C
25/ago	26,4 ° C	25,0 ° C	26,0 ° C	1,0 ° C

Os resultados obtidos de temperaturas utilizando o secador no cobogó e garrafas são mostrados na Tabela 4.1.9 e 4.1.10. Os valores das reduções de temperatura encontradas nos dois casos, podem ser visualizadas nas mesmas tabelas.

Tabela 4.1.9: Redução de temperatura na utilização do secador no cobogó

Temperatura - Cobogó/ Secador			
Data	Exterior	Interior	Redução
09/ago	54,0 ° C	48,0 ° C	6,0 ° C
10/ago	50,5 ° C	45,7 ° C	4,8 ° C
11/ago	52,0 ° C	46,8 ° C	5,2 ° C
21/ago	47,0 ° C	42,0 ° C	5,0 ° C
22/ago	39,0 ° C	33,5 ° C	5,5 ° C
23/ago	40,0 ° C	33,0 ° C	7,0 ° C
24/ago	42,0 ° C	33,0 ° C	9,0 ° C
25/ago	42,0 ° C	32,0 ° C	10,0 ° C

Tabela 4.1.10: Redução de temperatura na utilização do secador nas garrafas

Temperatura - Secador/ Garrafas			
Data	Exterior	Interior	Redução
21/ago	57,0 °C	54,0 °C	3,0 °C
22/ago	54,0 °C	53,0 °C	1,0 °C
23/ago	55,0 °C	53,5 °C	1,5 °C
24/ago	56,0 °C	53,5 °C	2,5 °C
25/ago	57,0 °C	55,0 °C	2,0 °C

Percebe-se que a redução de temperatura foi mais significativa quando utilizado o secador de cabelo no cobogó e garrafas.

A média de redução de temperatura para o ventilador nas garrafas foi de 0,23 °C, para o ventilador no cobogó foi de 1,13 °C, para o secador no cobogó foi de 6,6 °C e para o secador nas garrafas foi de 2,0 °C.

4.2 Discussões

As temperaturas ambiente nos dias dos experimentos variaram entre 25 °C e 28°C e as umidades relativas do ar entre 68% e 75%. De acordo com o referencial teórico que aborda resfriamento evaporativo quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar, maior será a diminuição de temperatura. Observa-se nas tabelas que as temperaturas medidas estavam próximas à temperatura ambiente (25°C) e não representavam altas temperaturas; já as umidades em torno de 72% dificultam a evaporação da água, pois estão mais próximas da saturação (100%); dessa forma não se observou diminuição significativa de temperatura no ambiente interno do sistema com o uso do ventilador. Para utilizar como referência os parâmetros da Tabela 2.1 foi necessário fazer uma extrapolação dos resultados para a temperatura de 30 °C (mais próxima do experimento) e umidade de 70%. Da linha de tendência encontrou-se o valor de arrefecimento 30°C para 24°C, conforme a Figura 25. A Figura 26 apresenta a visualização do resfriamento para umidade de 70%.

Figura 25: Previsão linear da linha de tendência para a temperatura de 30°C

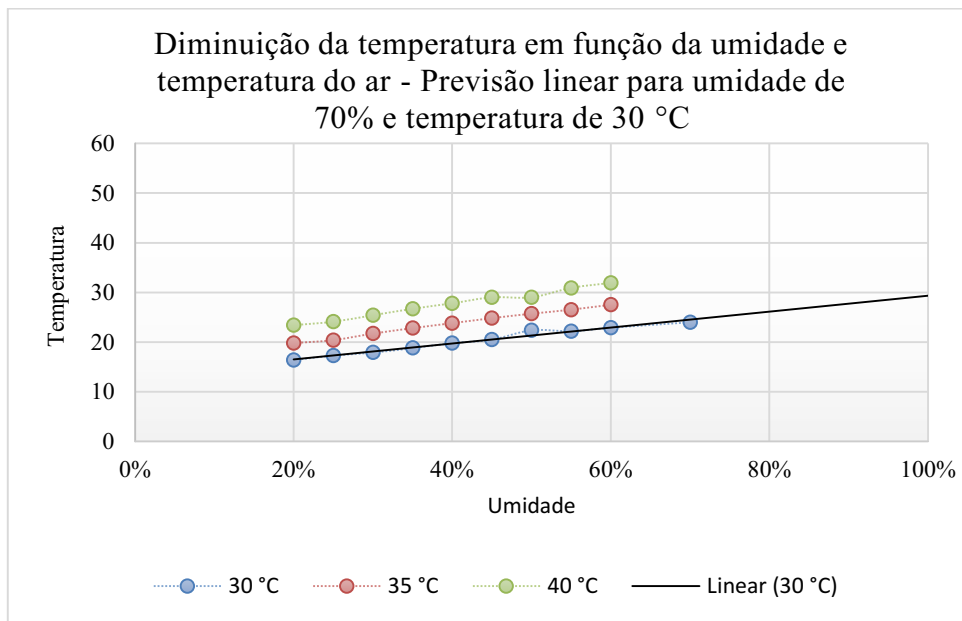
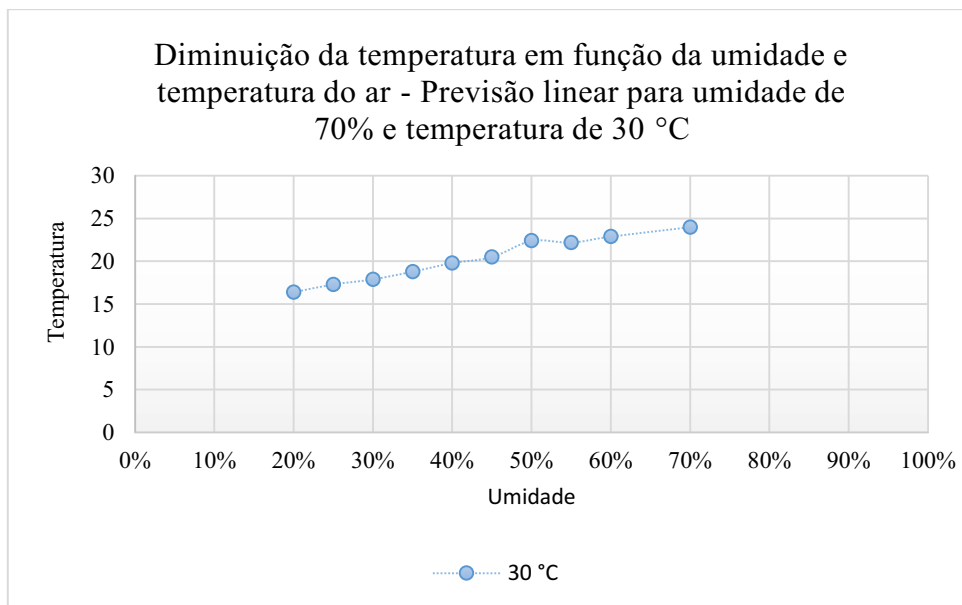


Figura 26: Arrefecimento da temperatura para a umidade de 70 % (Extrapolação da Tabela 2.1)



Nota-se que o resfriamento utilizando o ventilador no cobogó poderia ser maior, visto que na Tabela 2.1 em condições climáticas aproximadas o arrefecimento foi de 6 °C. Não se pode comparar as duas situações devido ao não conhecimento da velocidade do vento, material argiloso utilizado, dimensões diferentes dos elementos e temperaturas deferentes (apenas aproximada); porém era de se esperar que o resultado fosse mais

próximo. O fato da diferença de diminuição de temperatura entre a Tabela 2.1 (6,0°C) e o experimento (1,13 °C) pode ter sido devido aos parâmetros desconhecidos já citados e também a quantidade de peças utilizadas, já que no experimento foi utilizado apenas 1 (um) cobogó.

A infiltração de água para o exterior do cone era lenta, dessa forma quando o simulador de vento quente (secador) entrava em contato com a área molhada, em segundos a água evaporava deixando a área de contato com o ar seca, era necessário a umidificação da área externa do cone com um pano molhado para continuação do experimento, pois se continuasse o ensaio com a área seca os resultados seriam errôneos já que o princípio do resfriamento evaporativo seria inexistente. O ato de umidificar a superfície lateral através do pano úmido pode ter influenciado os resultados. A manipulação com o pano só foi realizada na primeira semana de experimento. Nota-se que na primeira semana a diminuição de temperatura foi menor que na segunda semana, o que contraria o princípio do resfriamento evaporativo, já que na primeira semana as temperaturas e velocidades dos ventos eram maiores. Na segunda semana diminuiu-se as velocidades e temperaturas dos ventos, fazendo com que não fosse necessário a utilização do pano úmido e a diminuição de temperatura aumentou. Esses resultados evidenciam a provável influência da percolação lenta para as condições climáticas estabelecidas.

Deve-se considerar que na primeira semana com utilização do secador, as velocidades dos ventos e as temperaturas de entrada do ar estavam acima das condições normais encontradas por exemplo, no sertão nordestino; o que significa dizer que o cobogó estava “trabalhando” além da sua capacidade de percolação da água. Como na segunda semana optou-se por diminuir as temperaturas de entrada de ar, aproximou-se das condições normais de temperatura, apesar de ainda acima da média encontrada no sertão nordestino; porém o cobogó “trabalhou” com mais eficiência, com a capacidade de percolação adequada durante o experimento.

As distâncias foram observadas já que, no caso do secador, quanto mais próximo do termômetro mais alta a temperatura. Percebeu-se que a distância afetou principalmente os resultados quando da utilização do secador, já que houve uma variação de temperatura mais expressiva na entrada no cobogó; com essa influência, e a distância do termômetro no interior do sistema sendo maior que a do exterior, houve um decréscimo de 0,5 °C na temperatura associada a variável distância. Notou-se que na utilização do ventilador como

simulador de vento, as distâncias não influenciaram na temperatura de entrada de ar no cobogó.

O princípio de resfriamento evaporativo ao mesmo tempo que arrefece o ar aumenta a umidade relativa do ambiente. Por falta de equipamento não houve uma medição específica da umidade relativa do ar no local do experimento, assim não foi possível uma análise mais aprofundada dessa variável que tem grande influência na diminuição da temperatura.

A utilização dos bocais das garrafas “pets” teve o intuito de atribuir a interferência, na diminuição da temperatura, do formato de bocal no cobogó. Notou-se que houve uma variação média de 0,23 °C para o ventilador nas garrafas e de 2,0 °C para o secador nas garrafas. Para o cobogó (onde obteve-se princípio do resfriamento evaporativo) a diminuição de temperatura aumentou para em média 1,13 °C utilizando o ventilador e para 6,6 °C utilizando o secador. Percebe-se que o formato de bocal influenciou na redução de temperatura, visto que houve variação de temperatura na utilização das garrafas. O princípio do resfriamento evaporativo aperfeiçoou o sistema de resfriamento já que percebeu-se o aumento da redução de temperatura quando da utilização do cobogó. Baseado nas conclusões citadas, o cobogó poderá ser utilizado com a função de arrefecimento do vento mesmo em lugares que são carentes de água, já que com apenas o formato de bocal houve resfriamento, necessitando apenas de um adequado posicionamento para captação da ventilação natural; porém como para um melhor resultado é necessário o uso da água, o que poderia ser feito era um estudo mais aprofundado para redução do consumo de água, como diminuição das dimensões e quantidade do cobogó, otimização da geometria da peça, o incentivo para reserva de água durante os períodos chuvosos e utilização dessa água nos cobogós nos períodos mais secos, entre outras possibilidades.

Para haver diminuição de temperatura relativa ao formato de bocal, a velocidade do ar deveria aumentar e a pressão diminuir no sentido do escoamento como explica o princípio de Venturi, equação de Bernoulli e 1º lei da termodinâmica no referencial teórico. Ambos os parâmetros não foram medidos, o que não permitiu um aprofundamento para descoberta do porquê do baixo valor da diferença de temperatura do ambiente externo para o interno, nas ocasiões de uso do ventilador nos bocais das garrafas. Notou-se que na utilização do secador nas garrafas, a diminuição de temperatura

foi maior que na utilização do ventilador, tal mudança provavelmente aconteceu devido as diferentes velocidades e temperaturas dos ventos na entrada dos bocais. Portanto a diminuição da temperatura no caso dos bocais das garrafas, foi diretamente proporcional a temperatura e velocidade de entrada dos ventos.

Como as condições de temperatura e umidade relativa do ar nos dias de experimento foram próximas, os resultados encontrados não se distanciaram da média, quando imposto condições parecidas. O ideal seria fazer experimentos em dias com condições climáticas diferentes e notar qual a influência dos mesmos nos resultados.

Além das discussões realizadas até aqui, algumas fontes de erros existentes no experimento podem induzir a falhas. Fontes relacionadas ao operador que ocorre devido a erros de leitura ou manuseio do equipamento; tempo de leitura do termômetro que deve ser lido imediatamente após a finalização do experimento, pois temperatura lida no termômetro deve condizer com a temperatura real do que se está medindo; o equipamento, no caso, o termômetro que deve ser monitorado. Dessa forma pode haver alguma parcela de erro associados aos resultados.

Existe a perda de calor do sistema, pois o orifício situado na face superior do cubo de gesso que serviu como entrada do termômetro no ambiente interno do sistema tinha uma área maior que a ocupada pelo braço do operador, dessa forma havia fluxo de calor através daquela entrada; existiam pequenas arestas vazadas que podem ser visualizadas nas Figuras 19 e 20 que podem ter facilitado o fluxo de calor entre o exterior e interior do sistema. Quando o experimento estava sendo realizado no cobogó, havia permeabilidade da parede na face onde encontravam-se as garrafas, além do orifício da face superior do cubo; e vice versa, quando o experimento estava sendo realizado com as garrafas havia a permeabilidade da parede que suportava o cobogó. Essas aberturas permitiam as trocas de calor, que devem ser consideradas como possível fonte de erros.

O fato do piso do sistema não ter sido confeccionado em placas de gesso pode ter contribuído na falta de isolamento do sistema, já que uma única face do cubo era o próprio piso do laboratório coberto com lona plástica.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

A pesquisa teve como objetivo geral a criação de um cobogó que conseguisse resfriar o ar através de mudanças na sua forma geométrica onde envolvesse aplicação de princípios físicos relacionados a termodinâmica e resfriamento evaporativo. O objetivo geral foi alcançado já que houve a criação do cobogó referenciado nos conceitos citados e através de experimentos percebeu-se a redução da temperatura do ambiente externo para o interno do sistema.

5.1.1 Quanto à existência e valor da diminuição da temperatura

Os experimentos realizados mostraram que houve diminuição da temperatura externa para a interna do sistema. Quando utilizado o ventilador como simulador de vento no cobogó, a diminuição média foi de 1,13 °C. Com o ventilador nas garrafas a diminuição média foi de 0,23 °C. Com o secador como simulador do vento aquecido no cobogó a diminuição média foi de 6,6 °C. Empregando o secador nos bocais das garrafas “pets” a diminuição média foi de 2,0 °C.

5.1.2 Influência do formato de bocal no resfriamento do ar por meio de garrafas “pets”

Notou-se que o formato de bocal representado pelas garrafas “pets” teve influência na diminuição de temperatura, pois o resultado da diminuição média de temperatura do ventilador nas garrafas foi 0,23 °C e com o secador nas garrafas a diminuição foi de 2,0 °C. Então parte do resfriamento ocasionado no cobogó é devido a sua geometria. Este resultado afirma o que expressa a 1ª Lei da Termodinâmica, princípio de Venturi e equação de Bernoulli.

5.1.3 Verificação do resfriamento do ar utilizando as garrafas “pets” (bocal) e utilizando o cobogó em argila com água (bocal e resfriamento evaporativo)

Os resultados entre a diminuição de temperatura devido ao uso do ventilador no cobogó e nas garrafas foram de 1,13 °C e 0,23 °C, respectivamente. E com o uso do secador no cobogó e garrafas a diminuição de temperatura foi de 6,6 °C e 2,0 °C, respectivamente. Como as distâncias não apresentaram interferência significativa quanto ao uso do ventilador a comparação é admissível. As reduções de temperaturas não podem ser comparadas devido as distâncias entre o simulador de vento e o termômetro serem diferentes, para o cobogó e garrafas, o que provoca alteração nos parâmetros: velocidade

e temperatura do vento; os materiais do cobogó e garrafas e as profundidade dos bocais eram diferentes.

5.1.4 Verificação da diminuição de temperatura quando utilizando simuladores de ar diferentes (ventilador e secador) no cobogó

Observou-se que a diminuição de temperatura devido ao cobogó dependia da temperatura da entrada de ar no mesmo. Então quando utilizado o secador a média de resfriamento foi 6,6 °C e com o ventilador foi 1,13 °C. Portanto quanto mais aquecido o ar na entrada do cobogó maior será o arrefecimento. Vale salientar que com o uso do secador havia uma evaporação mais expressiva, pois a umidade relativa do ambiente de passagem do fluxo de ar era diminuída, o que influencia diretamente no resfriamento. Os resultados afirmaram o que se explica do resfriamento evaporativo, que a diminuição de temperatura é diretamente proporcional a temperatura e inversamente proporcional a umidade relativa do ar.

5.1.5 Identificar a interferência das distâncias da saída de ar até o termômetro.

Percebeu-se que as distâncias da saída de ar até o termômetro interferiram nas temperaturas do ar na entrada do cobogó quando utilizou-se o secador como simulador do vento. Assim quanto mais próximo o secador estiver da entrada de ar do cobogó onde encontrava-se o termômetro, mais elevada era a temperatura e maior a velocidade do vento. As distâncias não interferiram consideravelmente quanto ao uso do ventilador nas garrafas ou cobogós.

5.1.6 Contribuição para a diminuição do uso de equipamentos elétricos, que carregam exaustivamente o meio ambiente, expelindo gases nocivos à saúde.

Com a utilização dos cobogós em períodos quentes e secos pode-se diminuir a utilização de aparelhos como ventiladores e ar condicionados. O ventilador consome energia elétrica, podendo este consumo ser então reduzido, provocando uma maior eficiência energética da edificação. O aparelho de ar condicionado, além de consumir energia elétrica emite gases causadores do efeito estufa que agridem o meio ambiente e a saúde da população, o uso do cobogó poderá reduzir a utilização desse aparelho.

Com a quantidade de experimentos realizados não se pode concluir com precisão o real valor da variação de temperatura, será necessário uma maior quantidade de resultados e uma medição mais ampla dos parâmetros envolvidos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para resultados mais embasados, algumas recomendações são indicadas.

- Medir parâmetros: Velocidade do vento, pressão, umidade relativa do ar no local do experimento;
- Fazer uso das equações de Bernoulli e da termodinâmica;
- Reduzir as perdas de calor por meio do fechamento dos orifícios que não estão sendo utilizados, e isolar melhor o ambiente colocando placas de gesso também no piso;
- Estudar a porosidade da argila e indicar qual a permeabilidade mais adequada para determinado ambiente;
- Estudar outros tipos de materiais para o cobogó;
- Utilizar uma quantidade maior de cobogós e centralizá-los na placa de gesso do sistema;
- Fazer medição de temperatura no interior do sistema e não somente na saída de ar das peças;
- Fazer comparações entre a peça de cobogó com água e sem água, fornecendo condições idênticas de ensaio.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520: informação e documentação: apresentação de citações em documentos**. Rio de Janeiro, 2002.
2. BASTOS, A. I. U. **Avaliação do uso de resfriamento evaporativo indireto em sistemas de climatização de edificações comerciais**. 2011. 10f.
3. CAMARGO, J. R. **Sistemas de resfriamento evaporativo e evaporativo-adsortivo aplicados ao condicionamento de ar**. 2003. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2003.
4. CLIMA TEMPO. **Previsão do tempo**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/>>. Acesso em: 09, 10 e 11 ago. 2017.
5. ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7ª Ed. New York: AMGH Editora Ltda, 2013. 1019 p.
6. DELAQUA, Vitor. **Cobogós: breve história e usos**. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/768101/cobogo>>. Acesso em: 7 mar. 2017.
7. ECOOLER. **Sistema de resfriamento natural cerâmico Ecooler**. Disponível em: <<http://ecooler.yolasite.com/>>. Acesso em: 22 mar. 2017.
8. FELTRE, R. **Fundamentos da Química**. 2ª edição. São Paulo: Moderna, 1996. Volume único.
9. FERNANDES, F.; PIZZO, S.; MORAIS, D. **Termodinâmica química**. 1º Ed, 2006.
10. GUÉMEZ, J.; FIOLEAIS, C.; FIOLEAIS, M. (1998). **Termodinâmica do equilíbrio**. Lisboa; Fundação Calouste Gulbenkian.
11. HALLIDAY, D.; RESNICK R.; WALKER J. **Fundamentos de Física, Volume 2**. Livros Técnicos e Científicos Editora SA - LTC, 8ª Ed. Rio de Janeiro, 2009.
12. LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. (2012). **Eficiência Energética na Arquitetura**. PW Editores. 3º Ed, 2012. São Paulo.
13. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes atmosféricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acesso em: 29 mar. 2017.
14. NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. 4ª Edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. Volume 2.
15. SANTOS, D. F. S. **Arquitetura Bioclimática: A integração do cobogó ao ambiente construído como ferramenta geradora de conforto térmico e lumínico em regiões quentes e úmidas**. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões -

URI, Campus II - Erechim, Brasil. (5º Seminário Internacional de Construções Sustentáveis).2016.

16. THE UNIPLANET. Aprenda a Fazer um “Ar-condicionado” sem Eletricidade, com Garrafas de Plástico. Disponível em: <<http://www.theuniplanet.com/2016/06/aprenda-fazer-um-ar-condicionado-sem.html>>. Acesso em: 10 fev. 2017.