

Monografia de graduação

Desenvolvimento de uma bancada para testes de termoacumuladores.

Roberto França de Oliveira

Natal, Novembro de 2010

DE OLIVEIRA, Roberto França — Desenvolvimento de uma bancada para testes de termoacumuladores. Monografia, UFRN, Departamento de engenharia mecânica, Programa de recursos humanos — PRH 14/ANP. Áreas de concentração: Engenharia de petróleo e refrigeração, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof. Dr. George Santos Marinho

RESUMO:

A refrigeração e economia de energia elétrica são muito importantes para quase todas as áreas de trabalho, e principalmente em locais de clima quente como o Brasil. É notório que em ambientes climatizados os funcionários rendem mais e chegam até a suportar por mais tempo atividades pesadas. Além desse apelo a maioria das empresas quer reduzir custos e reaproveitar recursos que seriam desperdiçados. Com esse intuito o presente trabalho desenvolveu uma bancada de teste de fluidos usados na refrigeração baseada na termoacumulação, que é o acúmulo de energia térmica durante os horários onde a energia elétrica é mais barata para ser usado em horários onde a energia é mais cara para grandes consumidores.

Palavras Chave:

- Refrigeração
- Termoacumulação
- Co-geração
- Economia de energia elétrica

ABSTRACT:

Refrigeration and economy of electrical energy are very important to almost areas, and mainly locals of warm weather like Brazil. It is notorious that in controlled ambient the employees have their performance increased and can resist more time in heavy activities. Not only this consideration most of companies desire reduce costs and reuse resources that would be lost. With this justification this research has developed a bench of fluids test, which are used in refrigeration based on thermal storage. Thermal storage is the storage of thermal energy in hours where the electrical energy is cheap to use when the energy is expensive to big consumers.

Key words:

- Refrigeration
- Thermal storage
- Co-generation
- Electrical energy economy

“Quando quero que meus homens se lembrem de alguma coisa importante, capricho nos palavrões. Pode não soar bem entre um bando de velhinhas, mas ajudam meus soldados.”

George Patton

Dedico essa monografia:

A minha família em especial a minha mãe Wilma que mesmo tendo apenas estudado por pouco tempo sempre incentivou todos os seus filhos a buscarem o conhecimento.

A todos os colaboradores, um agradecimento em especial a Pedro Celestino por ter ensinado muito como estudar e aproveitar o tempo, a Tatiana Ferreira e George Cruz por me ajudar bastante no laboratório e sempre incentivar a buscar novas saídas.

Ao orientador por mostrar o caminho das pedras e principalmente a ANP, PRH-14 e ao NUPEG em nome dos Professores Romualdo e Osvaldo que sempre me deram suporte para que o projeto fosse concluído.

AGRADECIMENTOS

À comissão gestora do PRH-ANP 14: Osvaldo Chiavone Filho e José Romualdo.

À Agência Nacional de Petróleo e gás natural – ANP, pelo apoio financeiro e por incentivar os estudos na área de Petróleo e Gás Natural.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	09
2. OBJETIVOS	11
3. ASPECTOS TEÓRICOS.....	13
3.1.Termoacumulação	14
3.1.1. Histórico.....	14
3.1.2. Objetivos	14
3.1.3. Tipos de termoacumulação.....	15
3.1.3.1. Termoacumulação com água	15
3.1.3.2. Termoacumulação com gelo	15
3.1.3.3. Termoacumulação com outros fluidos	16
3.2.Equipamentos do sistema e suas funções.....	16
3.2.1. Chiller	17
3.2.2. Fan-coil	18
3.2.3. Torres de resfriamento.....	18
4. METODOLOGIA	20
5. CONSTRUÇÃO DA BANCADA.....	22
5.1.Construção da bancada N°1	24
5.2.Construção da bancada N°2	26
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
7. CONCLUSÕES	31
8. BIBLIOGRAFIA	33

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

FIGURAS

FIGURA 01 – Foto de uma gota de água

FIGURA 02 – Foto de um cubo de gelo

FIGURA 03 – Esquema típico de representação - Cogeração/Trigeração

FIGURA 04 – Exemplo de um chiller de absorção

FIGURA 05 – Exemplo de fan-coils

FIGURA 06 – Foto de uma torre de resfriamento

FIGURA 07 – Desenho esquemático de uma torre de resfriamento

FIGURA 08 – Bancada n°1 para testes de termoacumuladores

FIGURA 09 – Compressor

FIGURA 10 – Condensador

FIGURA 11 – Evaporador

FIGURA 12 – Bomba de sucção

FIGURA 13 – Bancada em fase de montagem

FIGURA 14 – Bancada montada e devidamente isolada

FIGURA 15 – Computador equipado com placa de aquisição de dados

GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – Termoacumulação com gelo

GRÁFICO 02 – Termoacumulação com solução de água + álcool etílico 50%

GRÁFICO 03 – Termoacumulação com solução de água + Etilenoglicol 30%

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais e recursos naturais incalculáveis como: petróleo, minérios e insumos agrícolas. O que nos deixa em posição estratégica diante da economia mundial, mas apesar dessa aparente vantagem nós temos muita dificuldade de crescer, devido à crise energética que de 2001 em diante interrompeu o crescimento do nosso país.

Diante dessa realidade a política energética brasileira passou por transformações e as principais diretrizes foram: *estímulo à competição; elevação dos níveis de eficiência dos sistemas energéticos; racionalização de produção de energia; diversificação das fontes energéticas; descentralização da produção de energia; uso eficiente de energia e planejamento integrado de recursos* (Da Mata, 2000). Isso sinaliza para a produção de energia a partir da co-geração, pois é a maneira mais fácil de aproveitar uma energia que seria desperdiçada, pelo resfriamento, de grupos geradores ou de caldeiras, por exemplo.

Outro ponto importante é o custo da energia elétrica que vem sendo o principal fator para instalação de sistemas de termoacumulação, pois em horários de ponta, que é onde se exige mais do sistema elétrico a energia chega a ser oito vezes mais cara que em horários normais. Além disso, para que o governo consiga produzir mais energia elétrica para as empresas e para a população é necessário um grande investimento de médio e longo prazo em hidrelétricas, termoelétricas ou energia nuclear (Angra três), que além de dificuldades financeiras requer licenças ambientais para sua implantação.

Como os sistemas de termoacumulação são viáveis em termos financeiros para produzir energia térmica (calor ou frio) em plantas de petróleo e gás natural, o presente trabalho visa criar uma bancada para testar materiais termoacumuladores que são usados nesses sistemas, com intuito de encontrar condições ótimas de funcionamento e diminuir tanto os custos de montagem quanto o espaço físico usado. Além de diminuir o consumo de energia elétrica em horário de ponta.

Capítulo 2

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal construir uma bancada de teste de fluidos usados em sistema de refrigeração de grande porte, onde será possível gerar curvas de desempenho térmico que são usadas para determinar a melhor estratégia de refrigeração.

Capítulo 3

ASPECTOS TEÓRICOS

3. ASPECTOS TEÓRICOS

3.1. TERMOACUMULAÇÃO

3.1.1. Histórico

Segundo (Pavan, L.B.B, 2004) A termoacumulação remonta aos tempos em que bloco de gelo, eram cortados de superfícies congeladas de lagos, e eram transportados e armazenados para posterior utilização, principalmente na conservação de alimentos.

E por volta dos anos 30 era usada em instalações de condicionamento de ar que apareceram nos Estados Unidos, e atendiam a prédios comerciais, hospitais, teatros etc. Naquela época, a preocupação era com o conforto térmico dos ocupantes das edificações e não com a tarifação de energia elétrica. Já por volta dos anos 40 e 50, do século passado, foi utilizada em laticínios, onde as cargas térmicas são altas e concentradas em curtos períodos de tempo.

As instalações visando racionalização do uso de energia, fugindo da tarifação diferenciada (tarifa horosazonal), datam dos anos 80, nos Estados Unidos, Japão e outros países, chegando mais tarde ao Brasil.

3.1.2. Objetivos

A principal intenção de se usar um sistema de termoacumulação é o de se diminuir o consumo de energia elétrica reduzindo custos e evitando multas pelo consumo de energia em horário de ponta que por exigir muito do sistema elétrico, tanto potência quanto capacidade, esse horário tem tarifas bem maiores que por sua vez são repassadas aos consumidores. E o objetivo secundário, mas não menos importante é o da produção do frio, para sistemas de condicionamento de ar que em um país como o nosso onde predomina o clima quente, o resfriamento de ambientes é muito requisitado. E segundo a ASHRAE (1997) conforto é um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente que envolve a pessoa. É fato que em ambientes com temperaturas controladas e livre de ruídos, os funcionários rendem mais e se sentem satisfeitos em exercer determinadas funções mais desgastantes.

3.1.3. Tipos de termoacumulação

Agora vamos destacar as maneiras mais usadas de como se armazenar energia térmica, ou melhor, gerar um potencial térmico que poderá ser aproveitado em uma hora oportuna (horário de ponta).

3.1.3.1. Termoacumulação com água



Figura 01 Foto de uma gota de água. Retirado da internet

<http://vergueiro.wordpress.com/category/agua/>

Nessa técnica utiliza-se o calor sensível que é a capacidade que a água tem para armazenar energia com uma variação de temperatura. No nosso caso a água é utilizada pelo seu alto calor específico $4,18\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ em comparação a outros materiais (ASHRAE Applications, 2003. citado por Pavan, L.B.B, 2004) A água gelada é geralmente gerada e armazenada em temperaturas entre $4,5$ e $5,5^\circ\text{C}$. Estas temperaturas são compatíveis com os sistemas convencionais dos resfriadores de água e sistemas de distribuição. Como a diferença entre a água gelada que é introduzida no tanque e a água que retorna depois de atender a carga térmica é de, normalmente, 10K , cada quilograma de água estoca $41,8\text{kJ}$, cerca de 8 vezes menos que o gelo (Pavan, L.B.B, 2004).

3.1.3.2. Termoacumulação com gelo



Figura 02 Foto de um cubo de gelo. Retirado da internet

<http://anoitecendo2.blogspot.com/2007/04/o-gelo-derrete.html>

O sistema de armazenamento de gelo faz uso do calor latente de fusão da água (gelo), o calor requerido para a mudança do estado sólido para o líquido. A água tem o maior calor latente de fusão dos materiais comuns: 334kJ/kg no ponto de fusão ou congelamento de 0°C, conforme (ASHRAE Applications, 2003 citado por. Pavan, L.B.B, 2004)

3.1.3.3. Termoacumulação com outros fluidos

Soluções salinas podem ser utilizadas, mas a fluidez não é tão boa quanto à da água e existe um outro problema que é o da corrosão que onera muito a instalação do sistema, para solucionar esse problema utiliza-se uma solução de etilenoglicol que em concentração de 25% solidifica-se apenas a -12°C, porém o etilenoglicol tem um inconveniente quanto ao seu descarte ao meio ambiente, uma vez que pode contaminar grande quantidade de água. (Pinheiro jr. J.L, 2008).

3.2. Equipamentos do sistema e suas funções



Fig.03 – Esquema típico de representação - Cogeração/Trigeração
retirado de Sérgio da Silva Brandão
Cogeração. Outubro 2004

Para o nosso estudo o sistema acima esta completamente representado. O GN (gás natural) é usado para produzir o movimento do motor que produz energia elétrica, o aquecimento do mesmo gera calor que é usado para aquecer uma caldeira, chamada de caldeira de recuperação, a água quente que sai da caldeira de recuperação é usada em um chiller de absorção que é o objeto específico de nosso estudo. No chiller de absorção a água ou solução salina é refrigerada por um sistema de absorção que pode usar a amônia com fluido de trabalho e em seguida a água ou solução salina refrigerada é distribuída pelo prédio no sistema de condicionamento de ar. Já na parte inferior da figura 03 a água de refrigeração é o óleo de lubrificação é usado para aquecer um

reservatório que fornecer água quente para as instalações que em países Nórdicos são de fundamental importância.

Portanto para maiores esclarecimentos nosso sistema está completamente localizado no chiller de absorção, e serão agora descritos.

3.2.1. Chiller

O chiller (figura 04) é o sistema responsável pela refrigeração do fluido de trabalho, por exemplo, à água dentro dele existem vários componentes de refrigeração como compressor; condensador; evaporador; e válvulas. Os chillers são usados em indústrias que necessitam de refrigeração em seu sistema de produção, ou são muito utilizados como base em sistemas de ar condicionado.



Figura 04 Exemplo de um chiller de absorção. Retirado da internet

www.facilitaja.com.br

3.2.2. Fan-coil

Os Fan Coils (Figuras 05) se traduzimos do Inglês esse equipamento significaria, ventilador de serpentina. Sua função é a de distribuir o ar gelado para o ambiente a ser refrigerado.



Figura 05 Exemplo de fan-coils da internet

www.facilitaja.com.br

3.2.3. Torres de resfriamento

Esse equipamento (figura 06) tem como principal função trocar calor para resfriar a água que vem de sistemas de geração de potência, ou de sistemas de refrigeração. Uma torre de resfriamento é basicamente um trocador de calor com diversos equipamentos acessórios para se conseguir a máxima área de contato com o fluido que tem que ser resfriado. Seus componentes são representados pela (figura 07).



Figura 06 Foto de uma torre de resfriamento. Retirado da internet

www.facilitaja.com.br

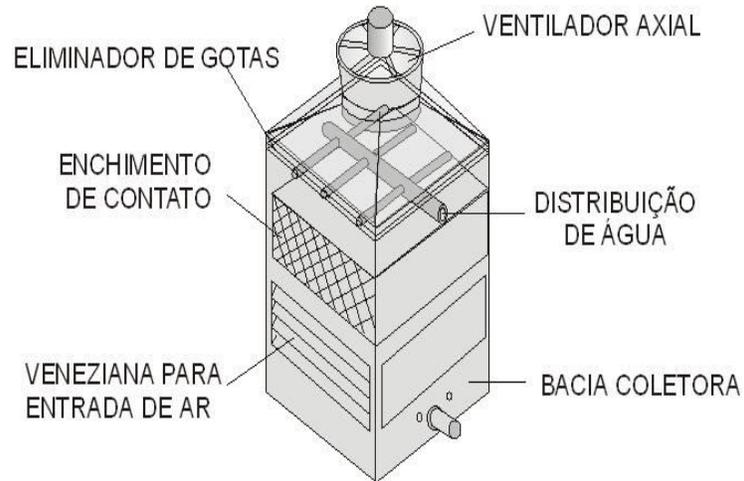


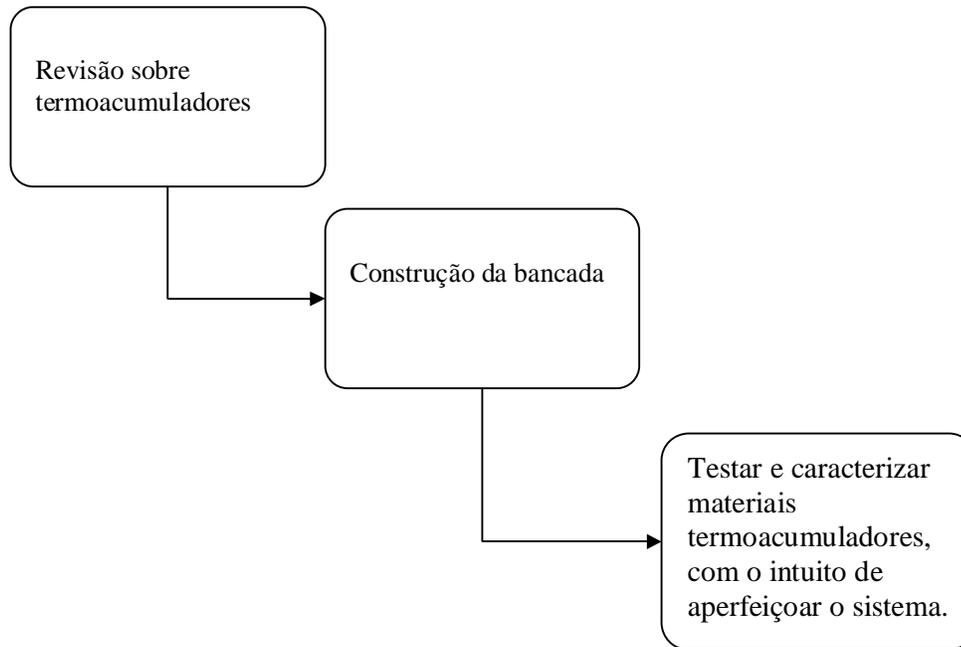
Figura 07 Desenho esquemático de uma torre de resfriamento.

Retirado da internet www.facilitaja.com.br

Capítulo 4

METODOLOGIA

4. METODOLOGIA



Como indica o fluxograma acima a revisão bibliográfica aconteceu maneira satisfatória e foi o que nos deu suporte para construir a bancada que foi a segunda etapa do trabalho, a bancada foi construída com a ajuda de algumas pessoas da universidade e está pronta para o uso, a terceira etapa consistiu em caracterizar os materiais termoacumuladores, essa etapa foi bem sucedida e mostra que o objetivo foi alcançado e fica para futuros trabalhos o estudo da viabilidade desse tipo de sistema em locais produtores de hidrocarbonetos.

Capítulo 5

Construção da bancada

5. CONSTRUÇÃO DA BANCADA

A bancada para testes de termoacumuladores foi realizada de acordo com as seguintes etapas:

- Aquisição de materiais como: compressor; serpentina; fluido de refrigeração e tubos de cobre.
- Montagem do sistema.
- E o aval de um especialista.

Na segunda etapa de bolsa foi desenvolvida outra bancada mais potente e que comporta um volume maior de fluidos, e como o previsto ela esta satisfaz nossas expectativas e da mesma maneira como a primeira contamos com a presença de funcionários da universidade que nos cederam material e nos ajudaram na montagem do equipamento.

5.1. Construção da Bancada n°1

Na (figura 08) temos a bancada montada e pronta para uso, ela é basicamente um refrigerador que tem um compressor (figura 09) Embraco PW 3.5 K7 220V um condensador (figura 10) representado por uma serpentina sem cooler, um evaporador (figura 11) que esta representado pela caixa de isopor e uma bomba de sucção (figura 12) que será usada para fazer o fluido de trabalho circular pelo sistema.



Figura 08 Bancada para testes de termoacumuladores.



Figura 09 Compressor

Embraco PW 3.5 K7 220V



Figura 10 Condensador



Figura 11 Evaporador



Figura 12 Bomba de sucção

5.2. Construção da Bancada n°2

Já na bancada n°2 o princípio de funcionamento é o mesmo da n°1 a diferença básica seria na potencia do compressor. O sistema de aquisição de dados é o mesmo baseado em placa de aquisição e termopares do tipo T.



Figura 13 Bancada em fase de montagem



Figura 14 Bancada montada e devidamente isolada



Figura 15 Computador equipado com placa de aquisição de dados

Capítulo 6

RESULTADOS

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fluidos de termoacumulação testados foram:

- Gelo (ganho de energia térmica na forma de calor latente);
- Solução de água + álcool etílico 50% (energia térmica na forma de calor sensível) e
- Solução de água + etilenoglicol 30% (conforme a porcentagem média usada em sistemas convencionais).

Os gráficos que serão apresentados a seguir foram feitos com o auxílio de um computador com placa de aquisição de dados com tempo de funcionamento de 6 horas para cada análise e medições de aproximadamente de dois dias para que o sistema estabiliza-se, e os intervalos entre as coletas de dados eram de cinco minutos.

Termoacumulação com gelo

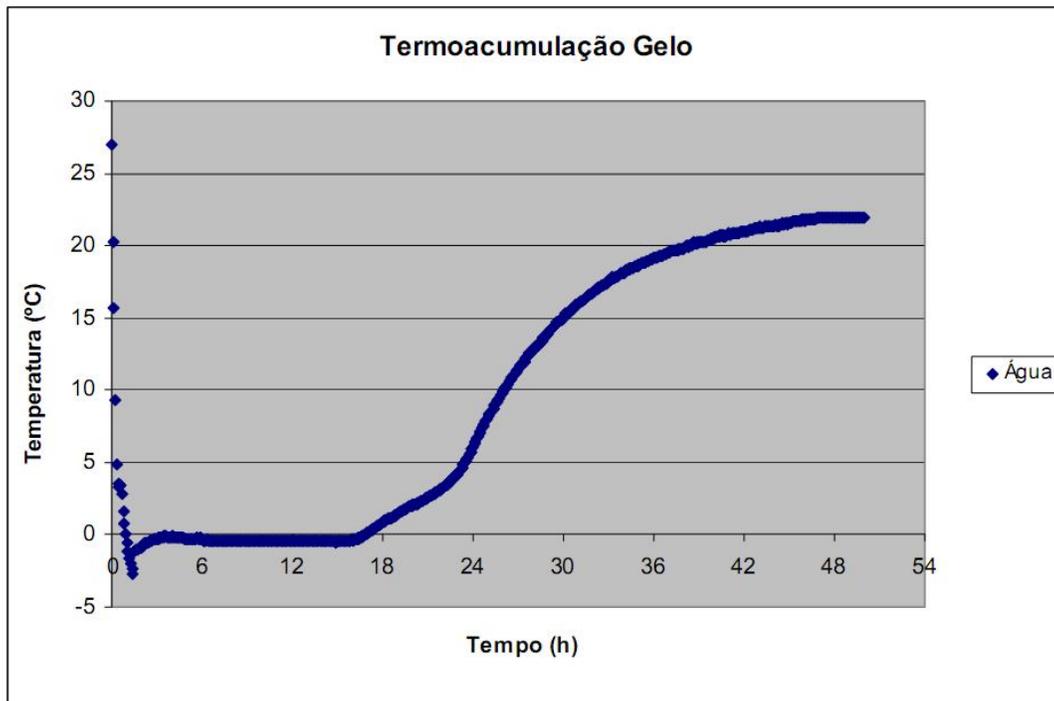


Gráfico 01 Termoacumulação com gelo

Termoacumulação com solução de água + álcool etílico 50%

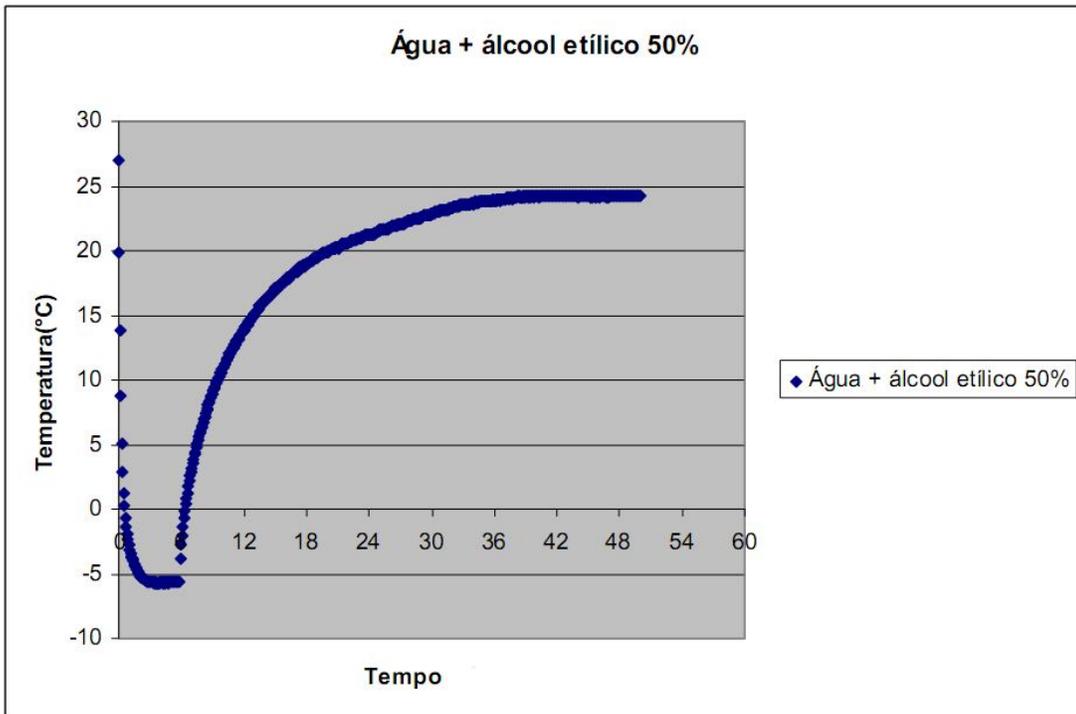


Gráfico 02 Termoacumulação com solução de água + álcool etílico 50%

Termoacumulação com solução de água + Etilenoglicol 30%

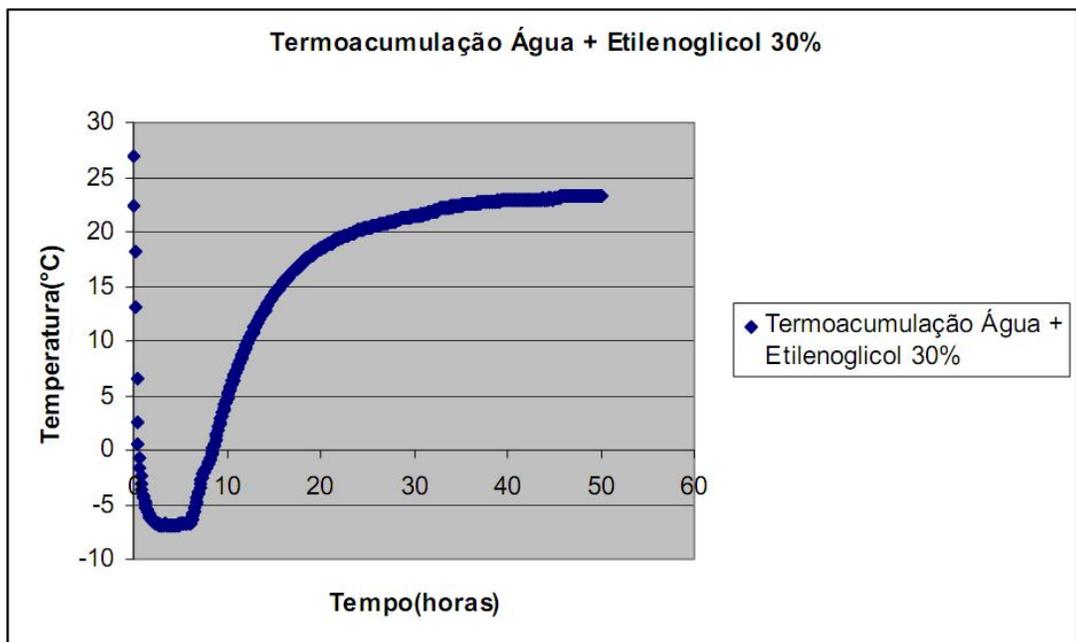


Gráfico 03 Termoacumulação com solução de água + Etilenoglicol 30%

Capítulo 7

CONCLUSÕES

7. CONCLUSÕES

Se for observado no primeiro gráfico, podemos notar que ao desligar o sistema após seis horas de funcionamento da bancada, o fluido só vai começar a se aquecer dez horas depois. Que indica um grande acúmulo de energia na forma de calor latente devido a uma mudança da fase sólida para líquida que ocorre a temperatura constante, conforme a literatura específica. Em contra partida, seu uso é limitado porque o gelo não tem fluidez e a menor temperatura possível de se obter é a de zero grau Celsius. Nas soluções de água mais álcool etílico 50% (Gráfico2) e etilenoglicol 30% (Gráfico3), conseguimos baixar a temperatura em menos cinco e menos sete graus Celsius, respectivamente. Neste caso, o responsável por esse fenômeno é o calor sensível, porém logo que o sistema é desligado o fluido rapidamente começa a se aquecer.

Para unir as duas propriedades foi sugerido o uso de substância confinada. Uma maneira de trabalhar tanto com o calor latente quanto com o calor sensível. Para que isso aconteça à substância que tem ponto de fusão mais alto deve estar confinada enquanto isso o fluido circulante tem que ter ponto de fusão mais baixo. E para finalizar como pesquisas futuras ficam sugeridas o trabalho com substância confinada para unir as duas propriedades, calor latente e sensível. Também seria muito importante um estudo de viabilidade econômica. Tudo isso visando à aplicação desse tipo de sistema em ambientes onshore e offshore.

Capítulo 8

BIBLIOGRAFIA

8. BIBLIOGRAFIA

ASHRAE HANDBOOK APPLICATIONS (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta - USA, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401**: Instalações Centrais de Ar Condicionado, Parâmetros para Conforto. Rio de Janeiro, 1980.

Pavan, L.B.B. “TERMOACUMULAÇÃO: GELO OU ÁGUA?” Porto Alegre 2004.

Sergio, S.B.(2004) CO-GERAÇÃO “TRABALHO NO ÂMBITO DA CADEIRA: PRODUÇÃO E PLANEJAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.”

Mata, C.R. “ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE CO-GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR TERCIÁRIO.”

Barja, G.J.A.(2006) “A COGERAÇÃO E SUA INSERÇÃO AO SISTEMA ELÉTRICO”

Poole, Alan., D., Poole, Jaqueline do N., 2000, *Potencial e Viabilidade da Co-geração em Shopping Centers no Brasil*, Revista Eletricidade Moderna, maio, pp132-153;

Van Wylen, Sonntag e Borgnakke (1998) Fundamentos da termodinâmica 5ª edição editora: Edgard Blucher LTDA.