



Armazenagem de energia térmica

Simas Kellys de Oliveira, Robson Fernandes de Farias, George Santos Marinho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Núcleo Tecnológico Industrial, Laboratório de Transferência de Calor, Campus Universitário, 59078-970, Natal – RN – Brasil. gmarinho@ct.ufrn.br

Resumo

São discutidos alguns fundamentos da termoacumulação de energia e apresentadas algumas aplicações.

Palavras-chave: Termoacumulação; Fluidos térmicos; Tarifa horo-sazonal.

Abstract

Some fundamentals of thermal energy storage are discussed and some applications are presented.

Keywords: Thermal storage; Thermal fluids; Seasonal tariff.

INTRODUÇÃO

Considere-se a seguinte afirmação: sempre houve excedente de energia elétrica no Brasil! Para consumidores que tiveram de se adaptar às duras regras impostas entre 2001 e 2003, quando o país atravessou um período de risco iminente de colapso do abastecimento, o comentário soa zombeteiro. Contudo, trata-se de um fato científico. Neste trabalho, serão apresentados argumentos em favor desse fato, juntamente com resultados de experimentos sobre uso de alguns fluidos como material para armazenagem de energia.

ENERGIA QUE SE DEIXA DE PERDER

Existe uma relação direta entre economia e energia. Com certa frequência, origina-se daí a noção da necessidade de construção ad infinitum de usinas para atender à demanda econômica. Porém, obtém-se mais energia por meio de medidas de conservação do que da construção de novas usinas, como foi evidenciado na década de 1970 pelo desconhecido físico Amory Lovins.

Na época, poderosos conglomerados de construtores de usinas termoelétricas e termonucleares disputavam entre si

para socorrer (e faturar) o governo norte-americano, empenhado em uma corrida contra o tempo para suprir um consumo de eletricidade que duplicava a cada três anos.

Sozinho, Lovins fundamentou sua proposta em dados científicos e apresentou-a de modo que mesmo leigos podiam entendê-la. Assim, ganhou espaço na mídia e, por fim, convenceu técnicos, acadêmicos, congressistas e governantes do papel preponderante da eficiência energética para se chegar a uma economia mais dinâmica e sustentável [1].

Era um desvio de 180 graus em relação ao raciocínio linear dos construtores, para quem a maior demanda tinha de ser suprida por meio de mais usinas. Melhorar a eficiência das máquinas trocando peças metálicas por materiais compósitos leves e resistentes, reduzir perdas de calor por meio de isolamento térmico, adequar as construções ao ambiente aplicando técnicas da arquitetura bioclimática e implantar programas de educação para uso da energia. Essas e outras medidas sugeridas por Lovins, dentre uma extensa coleção de propostas com êxitos comprovados, hoje parecem triviais, mas, no início, foram recebidas com indiferença ou refutadas como propaganda de uma aventura que levaria caos aos EUA.

No Brasil, assim como no resto do mundo, vivia-se o choque do petróleo de 1972 – 1973. A resposta ao desafio de abastecer a frota nacional veio em 1975: produzir combustível automotivo a partir de biomassa vegetal. Foi recebida com descrédito fora e dentro do país. Somente durante a segunda crise do petróleo, em 1980 (decorrente da guerra entre Irã e Iraque), o PROÁLCOOL Programa Nacional do Álcool conquistou o consumidor, apesar de, desde o início, ser uma alternativa técnica e economicamente viável. No campo da energia elétrica de origem hídrica, contudo, as duas décadas seguintes seriam de drástica, perigosa e irresponsável redução de investimentos. Então, veio a crise de 2001.

O risco de colapso (surpreendentemente!) surpreendeu o governo, que reagiu com medidas paliativas. Implantou o racionamento “voluntário”, que consistia em penalizar o cidadão que excedesse em sua residência o consumo de eletricidade do mês anterior. Houve ainda a medida proforma de destinar R\$ 1,3 milhão para projetos de pesquisa sobre eficiência e conservação de energia, repassado principalmente às universidades federais por meio do Ministério da Ciência e Tecnologia [2].

Entre os projetos contemplados, houve um de título pomposo: *Sistemas construtivos alternativos para redução do consumo de energia elétrica na climatização de ambientes* [CT ENERG]. Reunindo Pesquisadores, Técnicos e Alunos (de graduação e de pós-graduação) da UFRN, UFPI e UFCG, foram desenvolvidos estudos sobre meios para aumentar a eficiência da isolamento térmica de edificações [3 a 13], e técnicas de armazenagem de energia térmica – por meio de materiais de mudança de fase (*PCM – phase change materials*) [14]. Entre os resultados com aplicação imediata, a parte da pesquisa dedicada ao estudo da termoacumulação permitiu integrar um novo elemento construtivo ao sistema de climatização de um centro comercial [15], com comprovada economia de energia.

ENERGIA QUE SE DEIXA DE USAR

Uma vez que a climatização de ambientes consome cerca de 40 % da energia elétrica produzida no Brasil [16], o projeto tinha como meta principal diminuir a carga térmica no interior das residências devido à radiação solar. Atuava-se, portanto, na origem do problema.

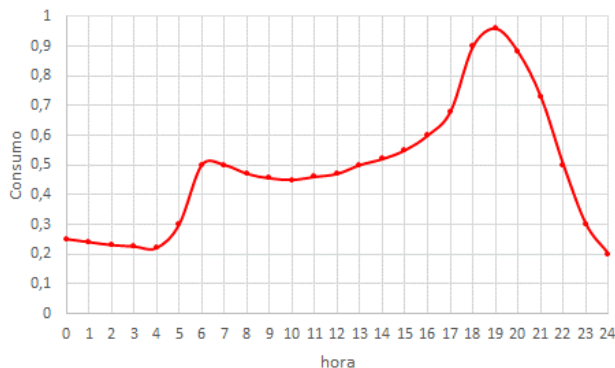


Fig. 1 – Curva de demanda diária residencial.

Na Fig. 1, vê-se a curva hipotética de consumo diário de energia elétrica em uma residência, usada aqui para ilustrar a associação entre consumo e cotidiano.

Equipamentos de climatização, refrigeração e ventilação, utilizados para remover calor de salas e conservar alimentos não são os únicos responsáveis por contas de luz elevadas. Há fatores de ordem socioculturais que contribuem para uma demanda alta por eletricidade.

Observando-se a Fig. 1, percebe-se que entre 00h00 e 04h00 o consumo se mantém estável. Entre 05h00 e 07h00 ocorre um pico de consumo, associado às atividades de preparação ao trabalho e às aulas. Até 12h00 o consumo não apresenta grandes variações. A partir das 13h00, com o aumento da temperatura ambiente, o consumo começa a crescer.

Entre 18h00 e 20h00, atinge-se o pico de consumo diário doméstico, correspondente ao período em se faz uso do chuveiro elétrico, fato bem conhecido das concessionárias de energia [17]. Imagine-se, agora, esse efeito multiplicado pelo número de residências de uma capital.

Para manter uma separação segura entre o pico de consumo e a oferta (i.e., evitar blackout), concessionárias criam atrativos aos grandes consumidores. Desse modo, supermercados, shoppings centers e hotéis são beneficiados com tarifa diferenciada (“horo-sazonal”), mais barata. Em contrapartida, devem cortar a entrada de eletricidade da concessionária durante o período de pico de consumo e produzir sua própria energia, por meio de moto-gerador movido à diesel ou outro combustível (ver Fig. 2). A mudança ocorre por volta das 17h30 e ninguém, mesmo sendo avisado, percebe sequer um piscar de lâmpada.



Fig. 2 – Moto-gerador em operação em um supermercado durante período de pico de demanda de eletricidade.

Voltando-se à Fig. 1, vê-se, como esperado, que o consumo começa a cair a partir das 22h00, devido ao período de repouso. Pergunta-se: o que fazer com a energia não consumida, i.e., como aproveitar o excedente de energia que se vê na área acima da curva de consumo?

Infelizmente, nem a concessionária ou a hidrelétrica podem ajustar a oferta para coincidir com o consumo – isso seria catastrófico. Assim, resta produzir mais que o necessário. O excedente de energia representa um enorme potencial à disposição de governos e da iniciativa privada.

Hoje, esse recurso ainda é pouco explorado. A maior dificuldade decorre da impossibilidade de se armazenar eletricidade de modo economicamente viável.

ENERGIA QUE SE PODE GUARDAR

Em usinas hidroelétricas, converte-se a energia solar (que faz evaporar água, transformando-a em chuva que, ao cair, alimenta nascentes de rios que desembocam em represas) em energia potencial gravitacional, i.e., água armazenada. Depois, aproveita-se o desnível entre pontos a montante e a jusante das represas para converter a energia potencial armazenada em energia cinética de escoamento d'água que, ao passar pela turbina, é convertida em energia elétrica. Uma vez convertida em eletricidade, a energia deve ser distribuída.

A energia pode ser armazenada de diversas formas. Crianças em idade pré-escolar conhecem brinquedos cujo princípio de funcionamento é fundamentado na armazenagem de energia potencial em uma mola. Também é possível armazenar energia quimicamente, seja na forma de gasolina, de uma pilha de Volt ou de uma bateria de automóvel.

Há estudos [18, 19] que demonstram teoricamente ser viável a armazenagem química da energia excedente de usinas de força. Já foi demonstrada a viabilidade do uso do excedente de eletricidade gerada em parques eólicos situados na região Nordeste do Brasil para realizar a eletrólise da água e produzir hidrogênio [20]. A proposta é ainda mais interessante pela disponibilidade de gasodutos em operação naquela região, por meio dos quais o gás poderia ser distribuído ao consumidor industrial, comercial ou doméstico.

Enquanto algumas ideias permanecem no papel, outras já se encontram totalmente operacionais. Incentivados por uma tarifa mais barata, grandes consumidores, como hotéis – onde os gastos com energia elétrica para climatização de ambientes podem chegar a 20 % dos custos globais [21], utilizam o excedente de energia elétrica disponível no período entre as 22h00 e as 05h00 para armazenar energia térmica.

TERMOACUMULAÇÃO

Por que mencionar armazenagem de “energia térmica” em vez de simplesmente “calor”? Porque energia “térmica” não obrigatoriamente significa “quente”; podendo ser armazenada tanto por meio de uma substância “aquecida”, i.e., com temperatura acima da temperatura ambiente, como por uma substância “fria” – abaixo da temperatura ambiente. É apenas uma questão semântica, que só depende da aplicação que se pretende dar à energia.

Na natureza, a armazenagem da energia é útil para sustentar a vida. O calor retido pela capa de gás carbônico que cobre o planeta é “armazenado” na atmosfera e nos oceanos. As calotas de gelo nos polos também atuam como reservatórios térmicos. Em conjunto, esses meios funcionam como “amortecedores” climáticos.

A armazenagem de energia térmica, ou termoacumulação, é uma técnica fundamentada na capacidade que as substâncias possuem de variar a energia cinética intermolecular em função da temperatura. Na prática, essa capacidade é quantificada pela propriedade denominada “calor específico”, representado por “c” – termo que compõe a mais conhecida de todas as equações da termodinâmica:

$$\delta Q/dt = m \cdot c \cdot (dT/dt) \quad (1)$$

sendo $\delta Q/dt$ (W) a taxa na qual calor é transferido para ou do material, m (kg) é a massa, c (J/kg.K) é o calor específico e dT/dt (K/s) a variação da temperatura no intervalo dt (s).

Tecnicamente, a principal característica desejável em uma substância utilizada em termoacumulação é que ela possua calor específico elevado, fazendo com que sua temperatura varie muito lentamente quando submetida ao aquecimento ou ao resfriamento. Obviamente, essa característica deve estar associada a baixo custo. Assim, até plástico reciclado pode servir como material para termoacumulação [22]. Em geral, utiliza-se água como fluido de termoacumulação. Além de possuir um dos valores mais elevados de “c” da natureza, é abundante, não tóxica, estável e fácil de ser transportada, entre outras características interessantes para essa aplicação.

Tecnicamente, o procedimento é trivial: no período de tarifa reduzida, a água é resfriada em um trocador de calor (“chiller”), que reduz sua temperatura até cerca de 6 °C; em seguida, bombas atuam para transportá-la até tanques de armazenamento; antes da abertura do estabelecimento ao público, a água fria é circulada através de tubulações, chega aos pontos onde há serpentinas (“fan-coils”); um ventilador “sopra” ar sobre a serpentina; o ar assim resfriado desce até o nível de ocupação pelo usuário.

A água como fluido termoacumulador pode ser utilizada na forma líquida ou sólida, e pode ser mantida em tanques ou piscinas [23]. Sua aplicação em temperaturas elevadas é limitada devido ao baixo ponto de ebulição. Quando a aplicação requer temperaturas inferiores a 0 °C, usa-se água misturada com sal (NaCl), na forma de salmouras. Na Fig. 3 observa-se um tanque utilizado para armazenagem de água resfriada destinada à climatização de um shopping center.

Com o intuito de verificar a possibilidade de substituição da água por fluidos com maior capacidade de armazenamento de energia, e, desse modo, reduzir o tamanho dos reservatórios de termoacumulação (entre outras consequências), foram realizados experimentos de aquecimento e resfriamento de alguns óleos de uso comercial. Esse trabalho integra uma pesquisa mais ampla, dedicada ao estudo do potencial de óleos vegetais provenientes da flora da região Nordeste do Brasil.

MATERIAL E PROCEDIMENTOS

Os experimentos foram realizados com material disponível em qualquer mercearia de bairro. A instrumentação utilizada pode ser encontrada em laboratórios de escolas de ensino médio. O procedimento escolhido para desenvolver os experimentos foi trivial.

Montagem do Experimento

Na Fig. 4 observa-se o material do experimento. Em uma bancada de laboratório foi montado um suporte para sustentação de cabos de termopares – permitindo mantê-los no centro dos frascos de contenção dos fluidos investigados nesta pesquisa. Um termômetro com entrada para dois termopares foi utilizado para registrar as temperaturas dos fluidos no interior dos frascos de vidro. Uma panela com resistência elétrica foi empregada para aquecimento da água utilizada no banho-maria, dentro da qual eram inseridos os frascos de vidro com os fluidos investigados. Um conjunto com termômetros de bulbo seco e bulbo úmido do ambiente serviram para monitorar a temperatura da sala. Usou-se um cronômetro para registrar os intervalos de aquecimento e resfriamento. Uma balança eletrônica foi usada para determinar a massa das substâncias. Prendedores fixavam os cabos dos termopares às hastes do suporte.



Fig. 4. Montagem do experimento.

Procedimentos



Fig. 3 – Tanque de termoacumulador em construção.

Os experimentos foram realizados sobre uma bancada situada no interior de uma sala climatizada, mantida a cerca de 25 °C. Após a pesagem dos fluidos em balança eletrônica, utilizou-se um funil para depositá-los no interior dos respectivos frascos de vidro. Cada fluido preenchia cerca de 80 % do volume do frasco, de modo a deixar um volume de ar entre o menisco do fluido e a tampa do frasco. Através de furo no centro da tampa de vedação do frasco, inseriu-se um fio de termopar, cujo cabo foi fixado à haste de um suporte por meio de um prendedor com mola de pressão. Fita adesiva foi empregada para vedação do espaço entre o fio do termopar e o furo da tampa do frasco (ver Fig. 5).

Depositava-se 1,5 L de água no interior de uma panela com aquecimento resistivo controlado por meio de termostato. Cada frasco foi colocado no interior da panela para aquecimento em banho-maria juntamente com um frasco idêntico contendo mesma massa de água (ver Fig. 6). Assim, em todos os experimentos, a substância investigada tinha seu comportamento simultaneamente comparado ao da água.

Na fase de aquecimento, ajustava-se o termostato da panela para evitar que a água no interior do frasco de vidro entrasse em ebulição. As temperaturas foram registradas a cada cinco minutos, durante 15 minutos no aquecimento e uma hora no resfriamento, em experimentos ininterruptos. Após cada experimento, os frascos eram retirados do banho-maria, esvaziados, lavados e enxugados. Os fios dos

termopares eram lavados com álcool e secados. A panela era esvaziada e cerca de 2 L de água em temperatura ambiente eram depositados em seu interior para acelerar o resfriamento. Quando a temperatura da água na panela atingia a temperatura inicial da água no experimento anterior, esvaziava-se a panela e depositava-se 1,5 L de água em seu interior para realizar novo experimento, com outro fluido de termoacumulação. Foram analisados comparativamente à água os seguintes fluidos: óleo de soja, óleo de coco e glicerina bidestilada.



Fig. 5. Frascos: esq. com óleo, dir. com água.



Fig. 6. Aquecimento das substâncias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 7 a 14 apresentam-se as curvas de aquecimento e resfriamento obtidas nos experimentos com óleos de coco e soja e glicerina, todos comparados à água.

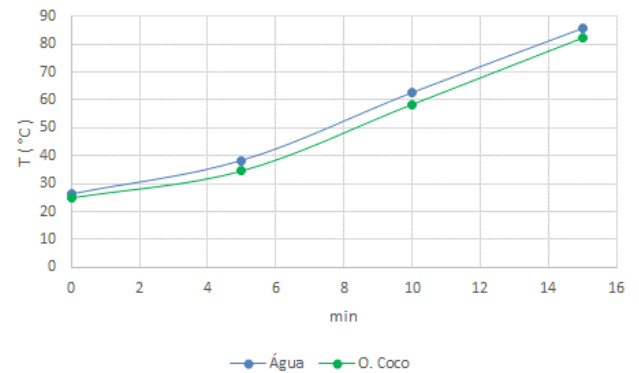


Fig. 7 – Curvas de aquecimento: água e óleo de coco.

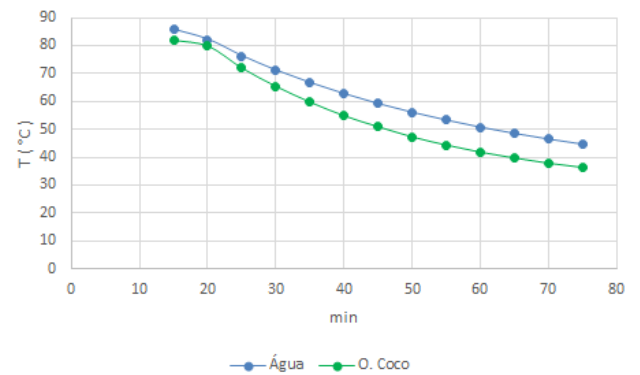


Fig. 8 – Curvas de resfriamento: água e óleo de coco.

Na Fig. 7 vê-se que água e óleo de coco comportaram-se de modo semelhante na fase de aquecimento até cerca de 80 °C. A maior diferença de temperatura ficou em torno de 4 °C.

Na Fig. 8 verificam-se, novamente, comportamentos próximos entre os dois fluidos durante a fase de resfriamento, onde a maior diferença de temperatura foi da ordem de 9 °C. Desse modo, para que fosse observada alguma vantagem econômica significativa do ponto de vista energético no uso do óleo de coco como termoacumulador, seria necessária uma grande quantidade de fluido.

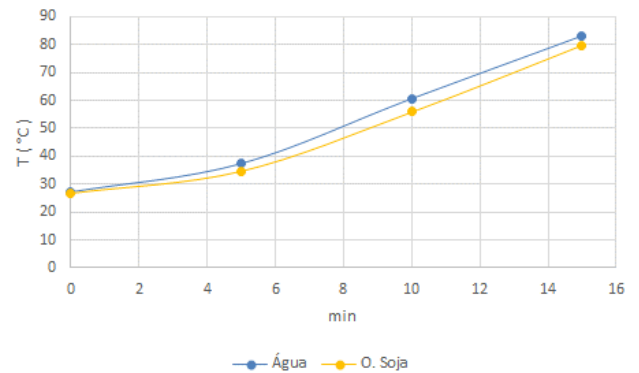


Fig. 9 – Curvas de aquecimento: água e óleo de soja.

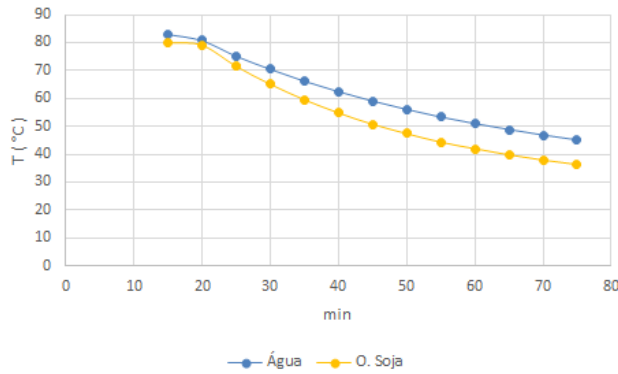


Fig. 10 – Curvas de resfriamento: água e óleo de soja.

Nas figuras 9 e 10 vê-se que o óleo de soja se comportou similarmente à água. As maiores diferenças de temperatura foram de aproximadamente 5 °C e 9 °C, respectivamente registradas para aquecimento e resfriamento. Assim como o óleo de coco, para que houvesse alguma vantagem econômica do ponto de vista energético na aplicação do óleo de soja como termoacumulador seriam necessários grandes volumes.

Nas figuras 11 e 12 representam-se, respectivamente, as curvas de aquecimento e resfriamento da glicerina e da água.

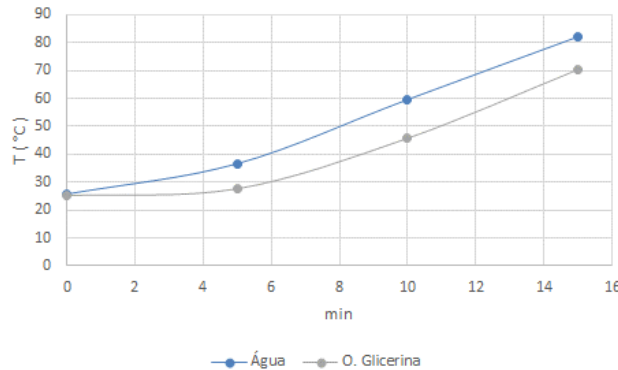


Fig. 11 – Curvas de aquecimento: água e glicerina.

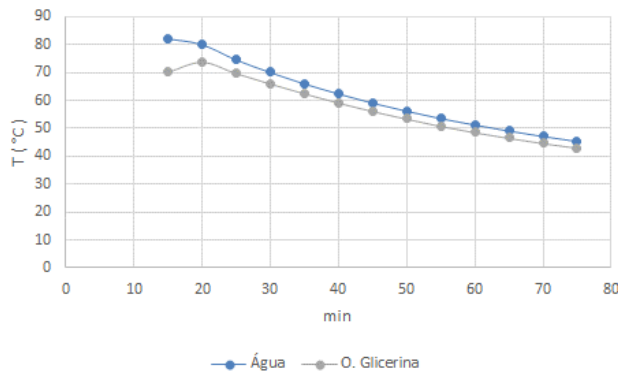


Fig. 12 – Curvas de resfriamento: água e glicerina.

Vê-se que, durante o aquecimento, houve um atraso no aumento da temperatura da glicerina em relação à água. Esse

atraso ocorreu de modo mais pronunciado do que os observados nos experimentos com os óleos de coco e soja.

As maiores diferenças de temperatura entre a glicerina e a água foram de 14 °C e 12 °C, respectivamente nas fases de aquecimento e resfriamento. Portanto, mais pronunciadas que as obtidas nos óleos de coco e soja.

Observando-se o início das curvas de resfriamento dos fluidos (Fig. 12), percebe-se que, enquanto a temperatura da água diminuiu imediatamente após o desligamento do sistema de aquecimento, a temperatura da glicerina permaneceu em ascensão nos cinco minutos posteriores ao corte de energia do banho-maria. Esse fato caracteriza a maior capacidade da glicerina em armazenar calor quando comparada aos outros dois fluidos estudados nesta pesquisa, como pode ser visualizado nas figuras 13 e 14.

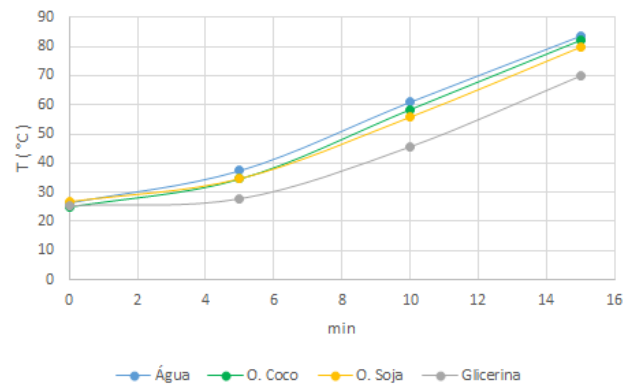


Fig. 13 – Curvas de aquecimento das substâncias investigadas.

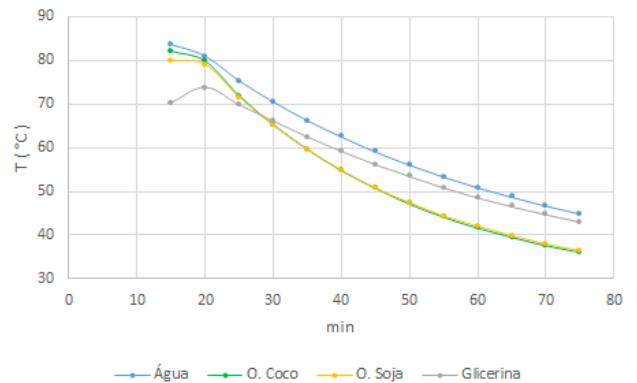


Fig. 14 – Curvas de resfriamento das substâncias investigadas.

A explicação para esse fenômeno está no fato do valor do calor específico da glicerina ser maior quando comparado aos valores dos óleos de coco e soja. Por esse motivo, a glicerina demora mais a sofrer acréscimo em sua temperatura durante a fase de aquecimento (ver Fig. 13) e, da mesma forma, também demora mais tempo para resfriar-se (ver Fig. 14).

Na Tab. 1, listam-se os valores médios de propriedades térmicas dos fluidos analisados neste trabalho. São dados de

diversas fontes, servindo mais para uma análise qualitativa que quantitativa do comportamento apresentado pelos fluidos nos experimentos de aquecimento e resfriamento.

Tabela 1 – Propriedades médias dos fluidos analisados: ρ - massa específica, κ - condutividade térmica, c_p - calor específico.

Fluido	ρ kg.m ⁻³	κ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	c_p kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Água	998 [24]	0,6 [24]	4,18 [24]
O. coco	916 [25]	0,321 [25]	4,1 [28]
Glicerina	1261 [24]	0,3 [24]	2,43 [24]
O. soja	917 [26]	0,18 [27]	1,97 [29]

Para auxiliar a análise, os dados foram colocados em diagramas de barras nas figuras 15, 16 e 17, respectivamente para ρ - massa específica, k - condutividade térmica e c_p - calor específico, destacando-se que esses são valores médios.

No aquecimento, apesar de possuir maior valor de c_p , requerendo, pois, mais energia para variar sua temperatura, a água aqueceu-se mais rapidamente e atingiu temperaturas mais altas que os demais fluidos. Isso se deveu ao maior valor de k (ver Fig. 16). Depois, vieram os óleos de coco e de soja e, por último, a glicerina.

Os valores de k do óleo de coco e da glicerina são relativamente próximos. Como o c_p da glicerina é inferior ao do óleo de coco, a variação de temperatura da glicerina deveria ser maior no mesmo intervalo de tempo de aquecimento. Porém, não foi isso que se constatou (ver Fig. 13). Esse resultado pode ser atribuído aos efeitos de outras propriedades que interferem no comportamento de substâncias sujeitas ao fluxo de calor, como densidade (ver Fig. 15), viscosidade e difusividade térmica.

Durante o resfriamento, as temperaturas dos óleos caíram mais rapidamente e atingiram valores menores que as temperaturas da água e da glicerina. Para aplicações onde se pretende armazenar energia a um nível de temperatura alto, esse não é um resultado interessante.

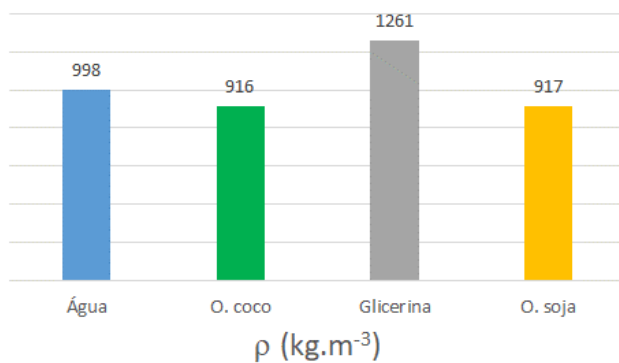


Fig. 15 – Massa específica dos fluidos.

Antes de se ponderar que a água é um fluido mais apropriado à termoacumulação que os óleos ou a glicerina é importante considerar, entre outros aspectos, que os experimentos foram realizados com aquecimento até cerca

de 80 °C. Acima desse valor, enquanto a água rapidamente muda de fase, os óleos vegetais mantêm-se na fase líquida, permitindo armazenar mais energia.

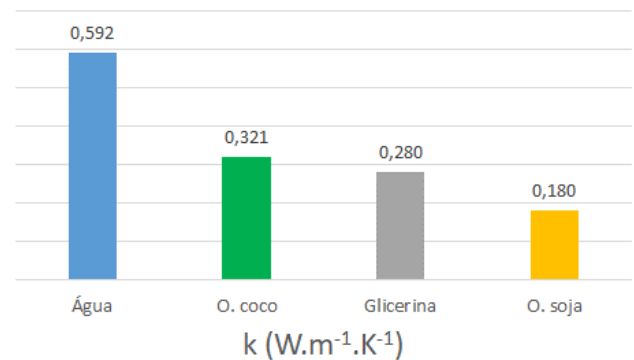


Fig. 16 – Condutividade térmica dos fluidos.

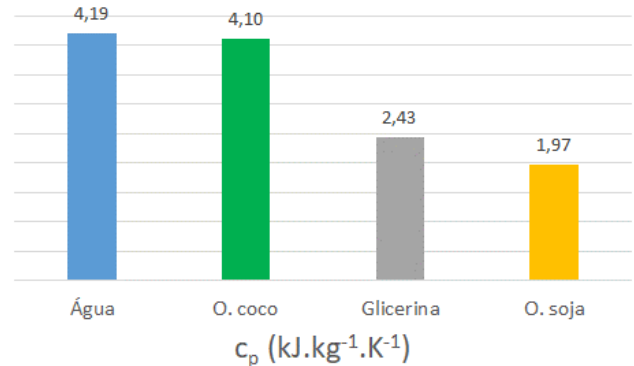


Fig. 17 – Calor específico dos fluidos.

CONCLUSÃO

A próxima geração de equipamentos para climatização e refrigeração deverá operar não por meio da compressão / expansão de fluido refrigerante (e.g., R-134a), mas por meio de processos que empregam a energia do ultrassom para impulsionar fluidos no interior de trocadores de calor. Será uma mudança de paradigma com profundas consequências na Engenharia Térmica, implicando em extraordinário aumento do coeficiente de desempenho (COP) dos equipamentos.

A economia que será proporcionada pela nova tecnologia representará um marco na história da termodinâmica, algo comparável à revolução promovida pelo homem no passado, quando transferiu os arreios do pescoço ao tronco do cavalo e, desse modo, aumentou a disponibilidade de energia no planeta em 70 %.

Enquanto a novidade tecnológica é desenvolvida, são necessárias medidas estimular a recuperação econômica do mundo sem comprometimento do equilíbrio dos ecossistemas. Em outras palavras, medidas de conservação de energia devem ser incentivadas.

O excedente de energia elétrica disponível no Brasil, se bem aproveitado, pode contribuir para reduzir o risco de

desabastecimento e manter as tarifas em um patamar que beneficie indústrias e empresas, eliminando a necessidade de uso de termoeletricas (sinônimo de falta de planejamento) e prorrogando a construção de novas usinas. Nesse aspecto, a tecnologia de termoacumulação tem muito a contribuir.

Utilizar óleos vegetais como fluido de termoacumulação pode proporcionar uma combinação interessante entre energia, ambiente e economia. Para tanto, é necessário conhecer propriedades e características de operação, razão pela qual será dado prosseguimento à presente linha de investigação.

REFERÊNCIAS

- [1] LOVINS, A. B. How big is the energy efficiency resource? *Environmental Research Letters*. 13 (2018) 090401.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad965>
- [2] Edital CT – Energ / CNPq 01 / 2003. Apoio a projetos de pesquisas básica, aplicada, ou de desenvolvimento tecnológico de interesse do Setor de Energia Elétrica.
- [3] MARINHO, G. S., COSTA NETO, L. X. Concreto leve aplicado a reservatórios de termoacumulação. *Mens agitat*, v. 3, p. 9-24, 2008.
- [4] PENHA, A. F., OLIVEIRA, A. M., MARINHO, G. S. Concreto celular espumoso aplicado à construção de tanques de termoacumulação. In: II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2007, Vitória ES. II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Vitória ES: Associação Brasileira de Eficiência Energética, 2007. v. 1.
- [5] MARINHO, G. S., COSTA, C. J. M., COSTA NETO, L. X. Termoacumulador para fluido aquecido. In: CONEM 2004, 2004, Belém PA. Anais do CONEM 2004, 2004.
- [6] MARINHO, G. S., COSTA, C. J. M., SOARES, R. C. Termoacumulador de cimento Portland com agregado de resíduo de borracha de pneu. In: CONEM 2004, 2004, Belém PA. Anais do CONEM 2004, 2004.
- [7] MARINHO, G. S., BENTA, E. S., COSTA NETO, L. X. Sistema para termoacumulação de frio construído com blocos de concreto leve. In: MERCOFRIO 2004, 2004, Curitiba PR. Anais do MERCOFRIO 2004. Curitiba PR: ASBRAV, 2004.
- [8] MARINHO, G. S., COSTA NETO, L. X., SOARES, R. C. Termoacumulador alternativo. In: Simpósio sobre Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos, 2003, Natal - RN. Simpósio sobre Desempenho Térmico de Sistemas Construtivos Alternativos. Natal - RN: UFRN, 2003.
- [9] CORREIA, A. A., MARINHO, G. S. Dispositivo para estudo de termoacumuladores. In: Semana de Termociências da UFRN. Anais. Natal – RN, 2015.
- [10] OLIVEIRA, L. R. F., OLIVEIRA, L. S. B., MARINHO, G. S. Estudo da aplicação de rochas à termoacumulação. In: Semana de Termociências da UFRN. Anais. Natal – RN, 2015.
- [11] OLIVEIRA, S. K., MARINHO, G. S. Comparação de curvas de aquecimento e resfriamento de óleo vegetal para uso em termoacumulação. In: Congresso de Iniciação Científica da UFRN. Natal – RN, 2016.
- [12] BEZERRA, L. A. C. Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto. 2003. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: George Santos Marinho.
- [13] COSTA NETO, L. X. Análise de desempenho térmico de reservatórios para termoacumulação construídos com blocos de concreto leve com agregado de EPS. 2003. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: George Santos Marinho.
- [14] DANTAS, V. B.; GOMES, U. U.; VITAL, A. B.; MARINHO, G. S.; SILVA, A. S. Characterization and granulometric correction soil for the production of soil-cement blocks for two method, particle size and X-ray florescence to be inserted in phase change materials (PCMs). *Materials Science Forum*, v. 798-799, p. 355-359, 2014.
- [15] MARINHO, G. S.; COSTA NETO, L. X. Concreto leve aplicado a reservatórios de termoacumulação. *Mens agitat*, v. 3, p. 9-24, 2008.
- [16] LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 2. ed. São Paulo: PW Editores, 2004. v. 1. 188p.
- [17] MARINHO, G. S.; CELERE, S. W. Análise do rendimento térmico de um sistema resistivo de aquecimento de água em função da potência térmica fornecida. Anais do IV Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, 1996, Recife - PE. VI CEMNNE, 1996. v. 2. p. 1029-1033.
- [18] KUMAR, A., SHUKLA, S. K. A Review on Thermal Energy Storage Unit for Solar Thermal Power Plant Application. *Energy Procedia* 74 (2015) 462–469.
Doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.728
- [19] SARBU, I., SEBARCHIEVICI, C. A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage. *Sustainability* 2018, 10, 191; doi:10.3390/su10010191
www.mdpi.com/journal/sustainability
- [20] PINHO, L. L. R. Avaliação da produção de hidrogênio a partir de excedentes de energia eólica utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ - COPPE, 2017. 219 p

- [21] PÉREZ, M. E., YANES, J. M., LARA, B. V., HERNÁNDEZ, S. M. Estudio sobre el almacenamiento de agua helada en los sistemas de climatización centralizados. *Ingeniería Energética* Vol. XXXV, No. 3/ 2014 p.252-262, Septiembre/Diciembre, ISSN 1815 -5901
- [22] NEGI, P., SINGH, Y., DOBRIYAL, R. Process investigations on the use of waste plastic as thermal energy storage material. *Materials Today*, 2020, Article in press.
- [23] DOMÍNGUEZ, M., GARCÍA, C. Aprovechamiento de los Materiales de Cambio de Fase (PCM) en la Climatización. *Información Tecnológica* Vol. 20(4), 107-115 (2009) doi:10.1612/inf.tecnol.4076it.08
- [24] IF/UFRJ. Propriedades de Fluidos. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Acessado em 11/06/2020.
https://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrostatica/tabela_LIQ.html
- [25] IRSYAD, M., HANIFAH, H. Heat transfer characteristics of coconut oil as phase change material to room cooling application. *International Conference on Recent Trends in Physics 2016 (ICRTP2016) IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 755 (2016) 011001*
Doi:10.1088/1742-6596/755/1/011001
- [26] ALMEIDA, J. K. P., NUNES, G. P., TEIXEIRA, C. C. M., RODRIGUES, D. P., MELLO, J. R. Caracterizações físicoquímicas de óleos vegetais utilizados para produção de biodiesel com metodologias alternativas simples. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual. Anais. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.
- [27] ABDALLA, M. E. Thermal conductivity measurement of soybean oil. 2018. Acessado em 12/06/2020.
<https://www.researchgate.net/publication/322959555>
- [28] PUTRI, W. A., FARHMI, Z., SUTJAHJA, I. M., KURNIA, D., WONORAHARDJO, S. Thermophysical parameters of coconut oil and its potential application as the thermal energy storage system in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series 739 (2016) 012065*
doi:10.1088/1742-6596/739/1/012065
- [29] Engineering Tool Box. Soy bean oil.
Acessado em 12/06/2020
https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-fluids-d_151.html