

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
(Organizador)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia química: desenvolvimento de novos processos e produtos 2 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0411-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.118221208>

1. Engenharia química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 660

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Engenharia química: Desenvolvimento de novos processos e produtos 2” é constituído por oito capítulos de livros que se distribuíram em três eixos-temáticos: *i)* produção e desenvolvimento de produtos de maior eficiência e de menor custo; *ii)* utilização de biomassa e controle de variável em diferentes processos industriais e; *iii)* geração de energia e estimativa de custo para recuperar espécies em recursos hídricos.

O primeiro capítulo investigou a relação de um conjunto de filtros, utilizados em ambientes fechados, em relação à eficiência e o consumo energético resultando em um sistema que requeria um consumo de 8 W e uma eficiência de retenção de partículas abaixo do recomendado pela OMS. O capítulo 2 avaliou o desenvolvimento de produção de nanofibras via *electrospinning* a partir da análise de números adimensionais com múltiplas variáveis, os resultados sugerem estudos promissores que definiram a operação de produção de fibras pela via *electrospinning*.

Os capítulos de 3 a 5 avaliaram: *i)* a importância do controle de temperatura no processo de esterilização de alimentos a partir de um modelamento matemático por meio de simulação computacional; *ii)* influência da temperatura na produção de ácido cítrico utilizando fungos da espécie *Aspergillus Awamori e*; *iii)* extração de xilose e glicose a partir do eucalipto (*Eucalyptus sp.*) a partir do pré-tratamento utilizando o ácido peracético e hidróxido de sódio.

Por fim, os capítulos de 6 a 8 apresentaram trabalhos que avaliaram: *i)* utilização da energia térmica a partir de resíduos de *Chillers*, gerados em unidades hospitalares; *ii)* análise de custo para recuperar microalgas a partir de processos de microfiltração e; *iii)* remoção de arsênio (III) em matrizes aquosa empregando carbono pirolisado como adsorvente.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **PROJETO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO E CONDICIONAMENTO DE AR UTILIZANDO MEIOS FILTRANTES DE NANOFIBRAS**

Alessandro Estarque de Oliveira

Mônica Lopes Aguiar

Vádila Giovana Guerra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212081>


### **CAPÍTULO 2..... 17**

#### **OBTENÇÃO DE ADIMENSIONAIS PARA O ESTUDO DE *ELECTROSPINNING***

Alessandro Estarque de Oliveira

Mônica Lopes Aguiar

Vádila Giovana Guerra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212082>


### **CAPÍTULO 3..... 33**

#### **CONTROLE INFERENCIAL PARA ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS**

Danúbia Lucas Meira Gontijo

Rafael Yuri Medeiros Barbosa

Rubens Gedraite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212083>

### **CAPÍTULO 4..... 47**

#### **PRODUÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO POR *ASPERGILLUS AWAMORI* E INVESTIGAÇÃO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA EM SISTEMA DESCONTÍNUO**


Emanuel Souza Barros

José Eduardo Olivo

Deivid Jonathan Souza Barros

Edvan Vinicius Gonçalves

Carlos Hiroaki Missaki Kuwabara

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212084>

### **CAPÍTULO 5..... 53**


#### **EXTRAÇÃO DE XILOSE E GLICOSE DE *EUCLYPTUS* sp. PRÉ- TRATADOS COM ÁCIDO PERACÉTICO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO**

Eduardo de Souza Costa Antunes

Ezequiel Marcelino da Silva

Raquel Marchesan

Adriane Maria Ferreira Milagres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212085>

### **CAPÍTULO 6..... 69**

#### **VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO CALOR RESIDUAL DOS CHILLERS**

**PARA PROCESSOS DE AQUECIMENTO EM HOSPITAIS**


Breno Wasserstein  
Carlos Eduardo Bonazzola Ribeiro  
Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212086>

**CAPÍTULO 7..... 86**

**ESTIMATIVA DO CUSTO DE CAPITAL DA MICROFILTRAÇÃO EM UM PROCESSO CONTÍNUO DE RECUPERAÇÃO DE MICROALGAS**


Gilzza Garcia Borges  
Rafael Bruno Vieira  
Thamayne Valadares de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212087>

**CAPÍTULO 8..... 99**

**REMOCIÓN DE ARSÉNICO (III) POR MEDIO DE CARBÓN DE PIROLISIS EN FASE ACUOSA**

Octavio Trejo-Chavero  
Lidia Soriano-Piña  
Cecilia Mercado-Zúñiga  
Juventino Barojas-Huerta  
María Teresa Torres-Mancera  
Raquel Eunice Hernández Ramírez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1182212088>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 104**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 105**

## VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO CALOR RESIDUAL DOS CHILLERS PARA PROCESSOS DE AQUECIMENTO EM HOSPITAIS

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 20/07/2022

### Breno Wasserstein

FAPRO - Faculdade Profissional, [www.fapro.com.br](http://www.fapro.com.br)  
São Paulo - SP  
<http://lattes.cnpq.br/8882630769092255>

### Carlos Eduardo Bonazzola Ribeiro

FAPRO - Faculdade Profissional, [www.fapro.com.br](http://www.fapro.com.br)  
Curitiba - PR  
<https://orcid.org/0000-0001-9994-7736>

### Eliandro Barbosa de Aguiar

FAPRO - Faculdade Profissional, [www.fapro.com.br](http://www.fapro.com.br)  
Curitiba – Paraná  
<https://orcid.org/0000-0001-9994-7736>

**RESUMO:** A preocupação com a eficiência energética e o meio ambiente é cada vez maior, pois sabe-se que quanto mais energia se consome, maior a emissão de gases de efeito estufa, que aumentam a temperatura média de nosso planeta. O objetivo deste artigo é avaliar a viabilidade técnicoeconômica do uso do calor residual de *chillers* alimentando um *chiller* tipo bomba de calor para a geração de água quente para uso em hospitais, que são consumidores intensivos de energia elétrica, utilizada na geração de água gelada, e combustível fóssil na geração de água quente, e, com isso, eliminar ou reduzir substancialmente o consumo de gás liquefeito de

petróleo (GLP) ou gás natural nos aquecedores de água. Para tanto, foi avaliado o perfil de carga térmica de um sistema de ar condicionado e o perfil de uso de água quente de um hospital-escola em Campinas, foi realizada a comparação da simultaneidade dos perfis de carga e o uso de software de modelagem energética, que mostra a redução do acionamento dos aquecedores de água que queimam gás liquefeito de petróleo. A partir dos resultados dessa modelagem energética foi obtido o novo consumo de combustível fóssil do hospital nos aquecedores de água e o novo consumo de energia elétrica no conjunto de *chillers* existentes e com o *chiller* bomba de calor. A partir daí foi feita a análise de viabilidade econômica da implantação desse sistema de recuperação de calor residual dos *chillers* existentes e a redução da emissão anual de CO<sub>2</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** Calor Residual; Chillers; Bomba de Calor; Economia de Energia; Recuperação de Calor.

### TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF USING RESIDUAL HEAT FROM CHILLERS FOR HEATING PROCESS IN HOSPITALS

**ABSTRACT:** The concern with energy efficiency and the environment is increasing, as it is known that the more energy is consumed, the greater the greater is the emission of greenhouse gases, which increase the average temperature our planet. The target of this article is to evaluate the technical-economic feasibility of using waste heat from chillers feeding a heat pump type chiller for the generation of hot water for use in hospitals,

which are intensive consumers of electricity for the generation of cold water and fuel fossil to generate hot water and thereby eliminate or substantially reduce the consumption of liquefied petroleum gas (LPG) or natural gas in water heaters. Therefore, the thermal load profile of an air conditioning system and the hot water use profile of a teaching hospital in Campinas were evaluated, the comparison of the simultaneity of the load profiles and the use of energy modeling software that show the reduction in the activation of water heaters that burn liquefied petroleum gas. From the results of this energy modeling, the new fossil fuel consumption of the hospital in the water heaters and the new electrical energy consumption in the set of existing chillers and with the heat pump was obtained. From there, the economic feasibility analysis of the implementation of this waste heat recovery system from the existing chillers and, the reduction of the annual CO<sub>2</sub> emission was carried out.

**KEYWORDS:** Waste Heat; Chillers; Heat Pump; Energy Saving; Heat Recovery.

## 1 | INTRODUÇÃO

No mundo inteiro, a preocupação com a eficiência energética e o meio ambiente é cada vez maior, pois sabe-se que quanto mais combustíveis fósseis se consome, maior a emissão de gases de efeito estufa. Os sistemas de ar condicionado e de aquecimento de água são dois grandes vetores de consumo de energia em edifícios comerciais — são os principais vetores energéticos do edifício, principalmente em edifícios corporativos para uso hospitalar.

Nesse ambiente, a operação funciona 24 horas, durante sete dias da semana, e os sistemas de ar condicionado e de aquecimento de água precisam ser mantidos ligados durante esse período. Em sua maioria, os hospitais utilizam sistemas de ar condicionado através de uma central de água gelada (CAG) para a climatização de ambientes classificados, e sistemas de aquecedores com queima de combustível fóssil para aquecimento de água para banho e cozinha, principalmente. Observa-se, portanto, o uso simultâneo dos sistemas de resfriamento e aquecimento.

Aí surge um questionamento: o rejeito térmico do condensador de um *chiller*, que é expurgado para o meio ambiente ou através de uma torre de resfriamento, não pode ser reaproveitado como calor potencial para uso em outro sistema?

Estudos mostram o desenvolvimento de sistemas de geração de água gelada e água quente integrados, com o aproveitamento de parte ou todo o rejeito térmico das unidades resfriadoras de líquido de uma central de água gelada, e a eliminação total ou parcial do uso de combustível fóssil, como gás natural ou óleo combustível, de caldeiras ou aquecedores de passagem, melhorando-se a eficiência energética de um hospital. Assim, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de um *chiller* bomba de calor para aquecimento de água para uso em um hospital. Esse procedimento é feito através do aproveitamento do rejeito térmico do *chiller* da central de água gelada do hospital, ao invés de gerar essa água quente através

de sistemas de aquecimento que queimam combustível fóssil, ou seja, gás liquefeito de petróleo (GLP), reduzindo-se a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e, consequentemente, o *global warm potential* (GWP). Essa avaliação é feita a partir do levantamento dos perfis de carga térmica de ar condicionado e de aquecimento desse hospital.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta pesquisa buscou entender essa situação em edifícios hospitalares, tanto em termos de consumo de energia elétrica, quanto do consumo de combustíveis. A pesquisa foi estendida até a China, país com a maior população do mundo e o que mais cresce anualmente em termos econômicos. De acordo com Chiang *et al.* (2017), recentemente a China se tornou o maior consumidor de energia do mundo, e o uso de energia em um hospital é duas vezes maior que o consumo de um edifício público.

Esse alto consumo de energia nos edifícios hospitalares ocorre devido às cargas de aquecimento e resfriamento, que acontecem de forma contínua, principalmente com a climatização dos ambientes e o aquecimento de água sanitária. Os edifícios dos hospitais usam uma variedade de fontes de energia para aquecimento e resfriamento, incluindo eletricidade, energia renovável, gás natural e combustível fóssil. Dentre eles, o sistema de climatização é o que mais utiliza energia elétrica, respondendo por 50% de todo o consumo, conforme a Figura 1.

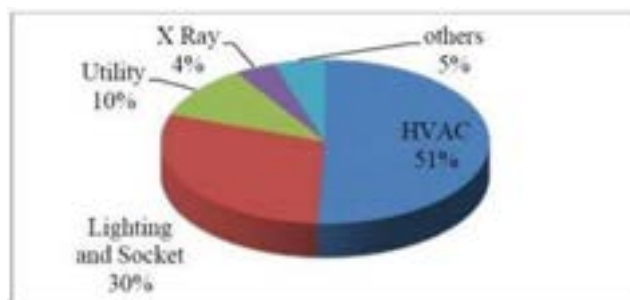


Figura 1 — Consumo de energia nas utilidades de um hospital típico

Fonte: Chiang *et al.*, 2017, p. 2

Já os combustíveis fósseis são mais comumente usados como fonte de abastecimento no sistema doméstico de aquecimento de água. De acordo com Chiang *et al.* (2017), mostrado na Figura 2, o uso de lavar e secar contribui com 58% do consumo total de combustível; aquecimento e uso de cozinha contribuem com 23%; e o uso de chuveiro contribui com 17% do consumo total de combustível.

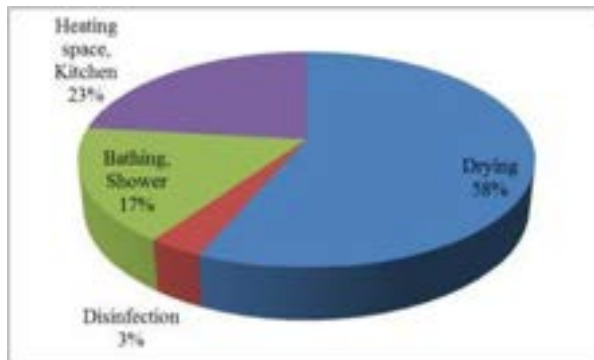


Figura 2 — Consumo de combustível fóssil nas utilidades de um hospital típico

Fonte: Chiang *et al.*, 2017, p. 2

E o que fazer com o rejeito térmico do condensador de um *chiller* da central de geração de água gelada do sistema de ar condicionado? Esse calor é simplesmente expurgado para o meio ambiente através de uma torre de resfriamento ou diretamente para o ar?

De acordo com Jia (2006), existem dois métodos de recuperação de calor de um *chiller*: um método utiliza um trocador adicional, fora do condensador resfriado a água, e em vez de rejeitar o calor para a torre de resfriamento, este é recuperado da água do condensador, conforme Figura 3; no outro método, a recuperação de calor pode ocorrer diretamente do fluido refrigerante quente no circuito de refrigeração usando um feixe de condensador adicional, conectado em paralelo com o condensador padrão, conforme Figura 4. Deve-se lembrar que um dos requisitos para a recuperação de calor em um sistema de produção de água gelada é haver aquecimento e o resfriamento simultâneos.

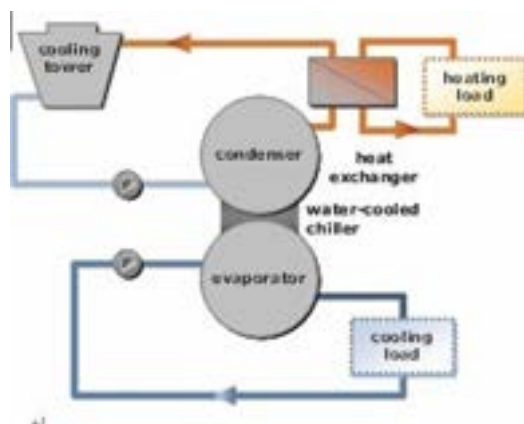


Figura 3 — Recuperação de calor com trocador de calor

Fonte: Jia, 2006

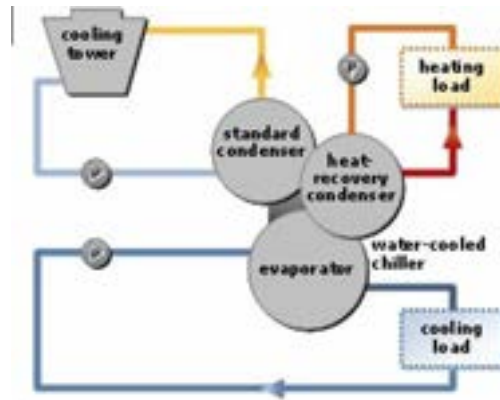


Figura 4 — Recuperação de calor com condensador adicional

Fonte: Jia, 2006

Outro ponto a comentar de nossa pesquisa é que nos deparamos por diversas vezes com os termos bomba de calor e recuperador de calor, usados alternadamente. De acordo com Jia (2006), quando a função principal de um resfriador é fornecer resfriamento e uma parte do calor rejeitado é usada para satisfazer as cargas de aquecimento, é conhecido como *chiller* com recuperação de calor. Entretanto, quando um resfriador de líquido é usado para fornecer calor de seu condensador como a sua função principal, o resfriador é considerado uma bomba de calor.

O resfriador foco deste artigo é a bomba de calor, e o calor disponibilizado é empregado no aquecimento da água, que tem utilização em aplicações comerciais e fornece água quente para aquecimento na faixa de 40,6°C a 45°C.

Esses *chillers* trabalham com uma temperatura de condensação mais elevada, como vemos em Jia (2006) e o apresentado na Figura 5. Já saem da fábrica com recursos de controle de capacidade que usam a temperatura de saída da água do condensador para determinar qual estágio de capacidade do compressor é necessário para manter o ponto de ajuste da temperatura de água quente. O *chiller* ajustará a capacidade do compressor para garantir a manutenção da temperatura da água quente.

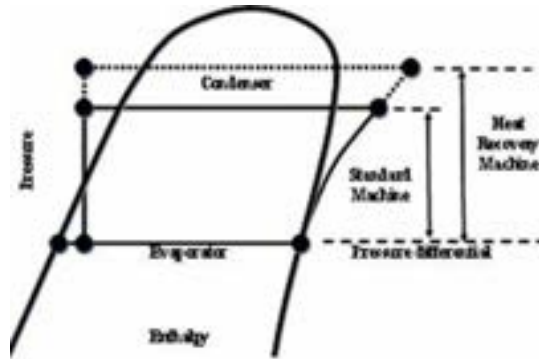


Figura 5 — Diferença de pressão do refrigerante  
 Fonte: Jia, 2006

Conforme Trane (2007), o controle de capacidade dos *chillers* com recuperação de calor dependerá da forma de descarregamento do resfriador. Ele pode ocorrer pelo controle de temperatura da água quente na saída do condensador, conforme indicado na Figura 6, ou na entrada do condensador, conforme indicado na Figura 7. Para compressores tipo *scroll* ou parafuso, o ideal é o controle da temperatura na saída do condensador. Essa estratégia procura carregar o resfriador ao máximo possível e manter a temperatura desejada da saída de água do resfriador, permitindo, assim, que a função principal do resfriador seja satisfazer a carga de aquecimento. O mesmo tipo de controle pode ser feito para compressores tipo centrífugo, desde que seja possível evitar a condição de *surge*.

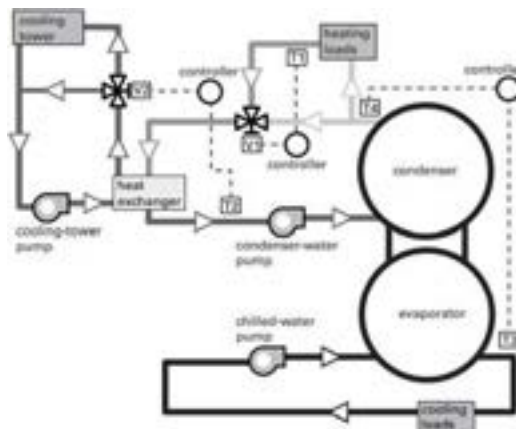


Figura 6 — Controle de temperatura de saída da água  
 Fonte: Trane, 2007, p. 5



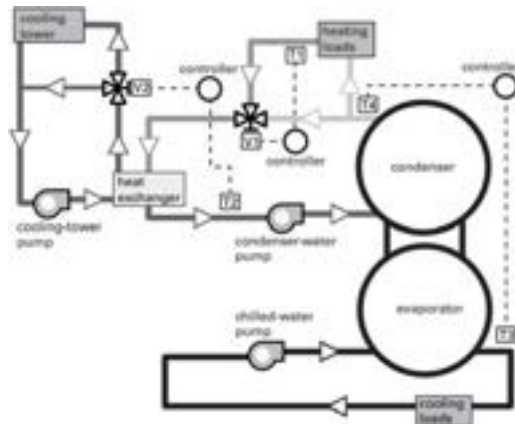


Figura 7 — Controle de temperatura de saída da água quente

Fonte: Trane, 2007, p.

Assim, conforme apresentado na Figura 7, o controlador de temperatura da água do condensador (T2) modula a válvula de desvio no laço da torre de resfriamento (V2) para manter uma temperatura constante de água quente. O controlador de temperatura da água do condensador (T2) modula a válvula de desvio no laço da torre de resfriamento (V2) para manter uma temperatura constante na temperatura de entrada de água no condensador. Este controlador também pode controlar o ventilador da torre para manter a temperatura de entrada da água no condensador.

Também se faz necessário o controle de temperatura da água de saída do condensador (T4). O seu ajuste é feito através do controle da saída da água gelada no evaporador, ou seja, descarrega-se ou, carrega-se o resfriador caso seja necessário aumentar ou diminuir T4. Por fim a terceira malha de controle a ser inserida é para o controle das cargas de aquecimento através da válvula V1 controlada a partir de T1. Assim, uma fonte de calor auxiliar pode ser necessária se a recuperação de calor não for alta o suficiente para manter a temperatura de saída do condensador.

De acordo com a Figura 15 na pesquisa de Chiang *et al.* (2017), um aquecedor de água reserva deve ser integrado ao sistema para garantir que uma fonte controlada de água quente esteja disponível durante os momentos em que o resfriador de recuperação de calor não estiver operando, como indicado na Figura 8.

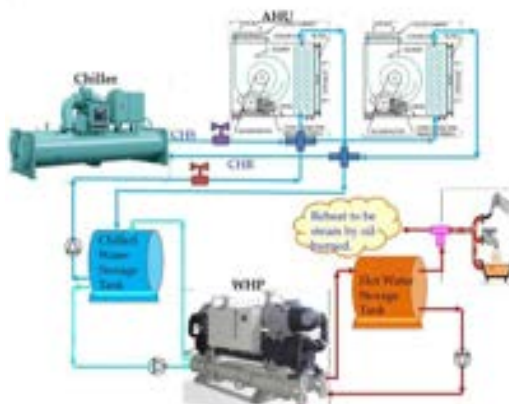


Figura 8 — Unifilar de uma bomba de calor (WHP) integrada a uma planta de água gelada e fan & coils (AHU)

Fonte: Chiang *et al.*, 2017, p. 16

Outra preocupação que notamos em nossa pesquisa é a questão de como configurar o sistema de recuperação de calor. De acordo com a pesquisa *Waterside Heat Recovery in HVAC Systems* (SCHWEDLER; BRUNSVOLD, 2011), um resfriador com tubulação em uma posição de fluxo lateral, conforme mostrado na figura abaixo, pode ser carregado em qualquer condição de carga, variando seu ponto de ajuste de água resfriada. Isso ocorre porque o resfriador de fluxo lateral, ou *sidestream*, pré-resfria a água, e estes resfriadores têm uma temperatura de entrada de água inferior à temperatura da água das cargas de resfriamento.

A principal vantagem desse arranjo é que o resfriador não precisa produzir a temperatura da água de abastecimento do sistema principal. Ele pode produzir qualquer temperatura de água necessária para atender exatamente à carga de aquecimento exigida. Isso permite que o resfriamento seja produzido em um nível mais alto de temperatura de água gelada, conforme apresentado na Figura 9.

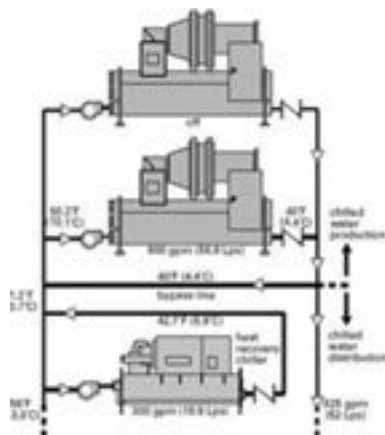


Figura 9 — Arranjo tipo *sidestream*

Fonte: Trane, 2007, p. 7

Assim, de acordo com Chiang *et al.* (2017), um estudo feito em um dos grandes centros médicos públicos no Sul de Taiwan, chamado Hospital K, mostrou que a instalação de um sistema de resfriador de água gelada com bomba de calor (WSHP) e integração com o sistema de ar condicionado existente torna-se uma solução tecnicoeconômica viável, conforme indicado na Figura 9. Os resultados desse *retrofit* mostraram uma economia significativa de energia e redução dos custos operacionais com um retorno financeiro do investimento da ordem de 1,2 anos.

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, estudou-se a operação atual da central de utilidades do Hospital de Clínicas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) para a produção de água gelada para o sistema de ar condicionado central e produção de água quente para utilização em banhos, cozinha e lavanderia, e os respectivos gastos com energia elétrica e combustível.

A central de produção de água gelada do hospital é composta atualmente por dois resfriadores de líquido tipo *chiller* com condensação à água e compressores tipo parafuso, com capacidade nominal de 300TR cada, sendo um reserva. Já a central de produção de água quente é composta por oito aquecedores de passagem através de queima de gás liquefeito de petróleo (GLP), com capacidade total de 800kW.

Nesta avaliação, utilizou-se o perfil energético do hospital da Unicamp fornecido pelo hospital em termos de demandas operacionais de eletricidade, refrigeração e aquecimento, que estão indicados no trabalho de conclusão de curso *Avaliação energética de implantação de um sistema de trigeração com termoacumulação mediante um estudo de caso* (OLIVEIRA, 2017), conforme indicado no Quadro 1 abaixo. Neste trabalho, pudemos

observar que, ao longo de toda a operação anual, existe uma simultaneidade de consumo de água gelada e de água quente.

Mês	Carga térmica de resfriamento (kWh)	Carga térmica de aquecimento (kWh)
Janeiro	564.390	456.127
Fevereiro	509.840	412.022
Março	568.630	458.397
Abril	361.600	378.360
Mai	375.120	394.575
Junho	363.800	383.765
Julho	255.600	336.902
Agosto	256.740	332.968
Setembro	247.600	325.188
Outubro	446.290	362.904
Novembro	431.400	351.606
Dezembro	442.890	365.718

Quadro 1 — Perfis de carga térmica anual

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir desses perfis de carga térmica e das características de capacidade e eficiência dos equipamentos das centrais de água gelada e água quente, foi feita uma simulação computacional para avaliação dos consumos de energia elétrica e térmica das referidas centrais térmicas. Para tanto, utilizou-se o software Trace 700, disponibilizado pela Trane Technologies.

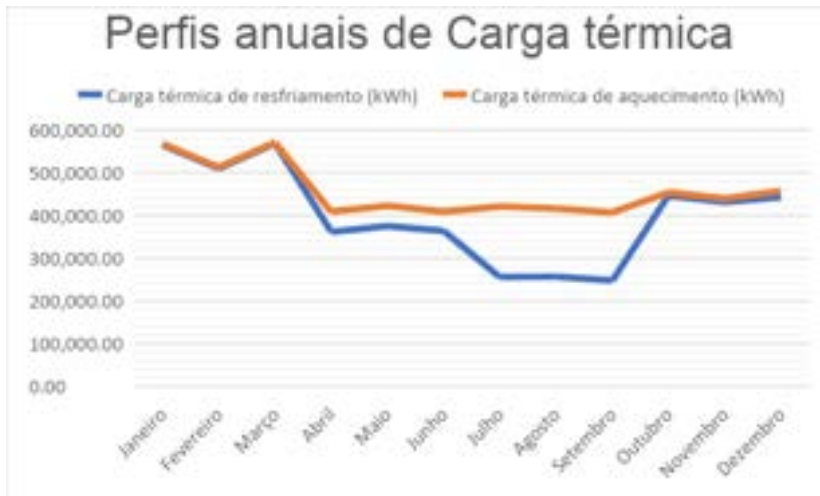


Figura 10 — Perfis anuais de carga térmica

Fonte: Elaborado pelos autores

Foi simulada a configuração das centrais térmicas atuais e, na sequência, foi simulada, com os mesmos perfis de carga térmica, uma central térmica de água gelada e água quente, em acordo com o Quadro 1 e a Figura 10, com a introdução de um *chiller* tipo bomba de calor resfriado à água, posicionado na central de água gelada atual em um arranjo tipo *sidestream*, conforme a Figura 9. Para a produção de água quente do hospital, considerou-se a operação do atual banco de aquecedores de passagem, que permanece em *standby*, e atuará apenas em caso de necessidade de complemento de carga, quando não houver produção de água gelada suficiente para a recuperação do rejeito do calor para a produção de água quente, conforme mostrado na Figura 9.

Os dados de entrada solicitados pelo software Trace 700 estão indicados abaixo:

1. *Chillers* da central de água gelada
  - *Coefficient of performance* (COP): 0,683
2. Aquecedores de passagem
  - Eficiência: 83%
3. *Chiller* bomba de calor: 220TR de capacidade nominal
  - 3.1 Para a produção de água gelada
    - Capacidade de produção: 585,9kW
    - COP: 1,15
  - 3.2 Para a produção de água quente
    - Capacidade de produção: 596,5kW

- COP: 1,27

No arranjo hidráulico do *chiller* bomba de calor foi utilizada a unidade com condensador único, conforme consta na Figura 3. Nas premissas deste estudo também foi considerado que a função primária desse resfriador de líquido é satisfazer a carga de aquecimento, ficando assim a produção de água gelada como um subproduto. Dessa forma, o controle de *setpoint* do *chiller* bomba de calor visa o controle de temperatura constante na saída do condensador, de acordo com a Figura 6.

Os resultados dessas simulações, com seus respectivos consumos de energia elétrica e térmica, estão indicados no Quadro 2 a seguir, categorizados por equipamento das centrais de água gelada e central de água quente (CAQ).

Consumo mensal de insumos CAG/CAQ atuais				Consumo mensal de insumos CAG/CAQ previstos			
Mês	<i>Chillers</i> (kWh)	<i>Boilers</i> (kWh,t)	Torres (kWh)	<i>Chillers</i> (kWh)	<i>Boilers</i> (kWh,t)	Torres (kWh)	<i>Chiller Heat Pump</i> (kWh)
Janeiro	70.144	679.447	9.949	7.078	2.008	6.645	135.018
Fevereiro	6.024	613.748	8.986	6.663	1.808	6.006	121.961
Março	70.248	682.727	9.949	7.433	1.606	6.928	135.616
Abril	52.050	490.515	9.628	-	26.238	-	94.072
Maiο	47,25	507.101	9.869	-	27.798	-	97.547
Junho	46.484	490.869	9.489	-	27.261	-	94.581
Julho	30.532	505.873	8.225	-	99.546	-	68.303
Agosto	31.509	499.964	9.350	-	125.306	-	68.588
Setembro	30.161	488.284	8.820	-	126.141	-	66.161
Outubro	62.336	544.917	9.949	-	5.953	-	113.522
Novembro	60.097	527.952	9.628	-	5.903	-	109.753
Dezembro	62.607	549.143	9.949	-	6.941	-	112.788
Total	628.817	6.580.541	113.791	21.174	456.509	19.580	1.217.910

Quadro 2 — Consumo de energia elétrica e térmica das centrais de utilidades

Fonte: Elaborado pelos autores

A próxima etapa da metodologia deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica da aplicação do resfriador tipo bomba de calor em um arranjo hidráulico tipo *sidestream* para o aquecimento da água do hospital. Foi considerado o uso complementar da carga de aquecimento pelos aquecedores atuais quando não houver produção de água gelada

suficiente para a recuperação do rejeito do calor para a produção de água quente.

Para tanto, buscou-se junto ao hospital as tarifas de energia elétrica e de GLP atualmente pagas, bem como de água, pois, conforme mencionado anteriormente, os *chillers* têm seus condensadores resfriados por água, que é resfriada em torres de resfriamento, o mesmo ocorrendo com o *chiller* tipo bomba de calor utilizado nesta simulação, conforme o Quadro 3.

Os resultados dos custos operacionais com essas utilidades — ou seja, energia elétrica, GLP e água para reposição nas bacias das torres de resfriamento — estão mostradas no Quadro 4, para as duas situações, ou seja, na central de utilidades atual e na solução proposta.

Tópico	Valor
Tarifa (A4-Azul)-ACR-R\$/kWh	0,64
Tarifa de GLP-(R\$/kg)	3,40
Tarifa de água-(R\$/lg)	25,00
PCI GLP (kcal/kg)	4.924
Carga térmica instalada de frio (TR)	300
Carga térmica instalada de aquecimento (kW <sub>a,t</sub> )	78.700
Tempo de operação anual (h)	8.760
Carga térmica anual de resfriamento (TR-h)	1.378.257
Carga térmica anual de aquecimento (kWh)	4.558.031

Quadro 3 — Premissas para a avaliação de custos operacionais (data base junho/2021)

Fonte: Elaborado pelos autores

No Quadro 4 estão indicados os resultados apresentados pela simulação com relação aos gastos operacionais com energia elétrica e energia térmica no arranjo das atuais centrais térmicas e com a utilização de um *chiller* que recupera o calor retirado pela água gelada utilizada nos condicionadores de ar tipo *fan & coil*. No Quadro 5 estão indicados os valores de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, calculados para as situações atual e proposta, lembrando que os valores de emissão devido ao consumo de energia elétrica foram calculados de acordo com o fator médio anual de t-CO<sub>2</sub>/mWh informado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, conforme valores despachados no ano de 2021.

Consumo anual de energia			
Insumo	Situação atual	Situação proposta	Varição (%)
Eletricidade (kWh)	1.526.843	2.186.186	43%
GLP (kg)	427.859	10.005	-98%
Água (m³)	8.741	3.645	-58%
Gasto anual de energia			
Insumo	Situação atual	Custo anual (R\$)	Varição (%)
Eletricidade (R\$/ano)	983.287	1.407.904	43%
GLP (R\$/ano)	1.454.721	34.017	-98%
Água (R\$/ano)	218.525	91.125	-58%
<b>Total (R\$/ano)</b>	<b>2.656.533</b>	<b>1.533.046</b>	<b>-42%</b>

Quadro 4 – Consumo de energia e custos operacionais (data base junho/2021)

Fonte: Elaborado pelos autores

Emissão anual de CO2			
Insumo	Situação atual	Situação proposta	Varição (%)
Eletricidade (Mwh)	193	276	43%
GLP (ton)	1,292	30	-98%
<b>Total (R\$/ano)</b>	<b>1,485</b>	<b>307</b>	<b>-79%</b>

Quadro 5 – Emissão de t-CO2 para a atmosfera (data base janeiro/2022)

Fonte: Elaborado pelos autores

Na última etapa da nossa metodologia, avaliamos o valor do capital a ser investido para um *chiller* tipo bomba de calor e demais acessórios. As despesas de capital incluíram a aquisição do *chiller* bomba de calor, do sistema de automação e a montagem do novo anel hidráulico *sidestream*, incluindo-se as bombas de água gelada e de água quente do condensador, lembrando que 60% desse montante foi cotado em dólar americano, com cotação de R\$5.70/US\$ (data base 07/01/2022). Na Tabela 1 e Quadro 6 estão indicados o fluxo de caixa e resultados financeiros desse investimento.

FLUXO DE CAIXA DO PROJETO (milhares de reais)																
Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investimento Inicial (mil R\$)	-2,350															
Economia do Projeto		1,123	1,146	1,169	1,192	1,216	1,240	1,265	1,291	1,316	1,343	1,370	1,397	1,425	1,453	1,482
TOTAL	-2,350	1,123	1,146	1,169	1,192	1,216	1,240	1,265	1,291	1,316	1,343	1,370	1,397	1,425	1,453	1,482
SALDO ACUMULADO	-2,350	-1,227	-81	1,088	2,281	3,497	4,737	6,002	7,293	8,609	9,952	11,321	12,718	14,143	15,597	17,079

Tabela 1 – Fluxo de caixa do projeto, vida útil de 15 anos

Fonte: Elaborado pelos autores



INDICADORES FINANCEIROS DO INVESTIMENTO		
TIR	49.66% a.a.	3.42% a.m.
VPL (mil R\$)	6.622	
ROI	281.78%	
TMA Projeto	11.00%	
Payback Simples	2 anos	

Quadro 6 — Resultados financeiros do fluxo de caixa/investimento no projeto

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir daí, chegou-se a um valor de capital da ordem de R\$2.350.000,00, o que remete a um retorno de investimento da ordem de 2,1 anos.

## 4 | CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados pela metodologia mostram que esta tese está correta, ou seja, o aproveitamento do calor residual oriundo do condensador de um *chiller* da central de água gelada de um hospital para a geração de água quente é vantajoso em termos econômicos e de sustentabilidade. Os resultados da metodologia mostraram uma redução de custos operacionais com insumos na central de utilidades de 42%. Por fim, foi feito o cálculo da redução de emissão de CO<sub>2</sub> com o uso de um *chiller* tipo *heat pump*. Uma avaliação da mudança de matriz energética de produção de água quente indica que a recuperação residual produz uma redução da emissão anual de toneladas de CO<sub>2</sub> de 79%.

Também ocorre uma forte redução do consumo de água da torre de resfriamento, da ordem de 55%, que gera uma economia com tratamento químico da água da torre, simultaneamente diminuindo a demanda térmica de frio e calor e reduzindo o uso dos queimadores de combustível fóssil, além de trazer todos os demais benefícios citados acima, tornando esse processo mais sustentável. Ainda conclui-se que quanto maior esta simultaneidade, maior a redução do uso de combustível fóssil.

Foi possível comprovar a viabilidade técnica do uso desse sistema quando existe uma simultaneidade de consumo de água gelada e água quente, muito comum em edifícios de uso hospitalar. Por fim, deve-se esclarecer que a solução em nada prejudica a geração de água gelada, pois o resfriador de líquido terá como função principal a geração de água quente, permanecendo o *chiller* atual com a função de geração de água gelada e *setpoint* independente.

O relatório *Cenário dos Hospitais no Brasil em 2018* (FBH; CNSAÚDE, 2018), da Federação Brasileira dos Hospitais, indica que existem cerca de 90.000 leitos que se utilizam de centrais de água gelada como sistemas de resfriamento do ar, com uma ocupação média de leitos de 70% e um consumo médio de água quente de 125l/dia.

Assim, extrapolando os índices resultantes de nosso estudo para o cenário

apresentado acima, o presente artigo servirá de base para outros estudos de redução de custos operacionais em hospitais e indústrias que são consumidores intensivos de água gelada e água quente em processos térmicos, e que atualmente simplesmente descarregam potencial térmico para a atmosfera e deixam de reduzir a queima de combustível fóssil e o consumo de água.

## REFERÊNCIAS

CARRIER. Converting Waste Heat to Useful Energy in Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems. **Carrier Engineering Newsletter**, v. 2, n. 1, 2014. Disponível em: [https://www.shareddocs.com/hvac/docs/1001/Public/0B/ENG\\_NEWS\\_2\\_1.pdf](https://www.shareddocs.com/hvac/docs/1001/Public/0B/ENG_NEWS_2_1.pdf). Acesso em: 2 jul. 2022.

CHALMERS, Bill. Heat Pumps and Heat Recovery for Healthcare. **Houston Area Association of Hospital Engineers**, 8 jan. 2015. Disponível em: [https://haahe.org/images/meeting/010815/heat\\_pumps\\_and\\_heat\\_recovery\\_for\\_healthcare.pdf](https://haahe.org/images/meeting/010815/heat_pumps_and_heat_recovery_for_healthcare.pdf). Acesso em: 1 jul. 2022.

CHIANG, Chen-Yu *et al.* Performance Analysis of an Integrated Heat Pump with Air-Conditioning System for the Existing Hospital Building Application. **Sustainability**, v. 9, n. 4, 530, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315886927>. Acesso em: 1 jul. 2022.

COSTA, Fernando Córner da. GLP Energético de Transição. **Sindigás**, fev. 2021. Disponível em: [https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES\\_SINDIGAS/glp-energetico-de-transicao-estudo-fernando-corner.pdf](https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES_SINDIGAS/glp-energetico-de-transicao-estudo-fernando-corner.pdf). Acesso em: 2 jul. 2022.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE HOSPITAIS (FBH); CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (CNSaúde). **Cenário dos Hospitais no Brasil**: 2018. Brasília: CNSaúde/FBH, 2018. Disponível em: [https://fbh.com.br/wp-content/uploads/2020/11/1-Relatorio-FBH-CNS\\_web.pdf](https://fbh.com.br/wp-content/uploads/2020/11/1-Relatorio-FBH-CNS_web.pdf). Acesso em: 1 jul. 2022.

HEATING, VENTILATION & AIR CONDITIONING HIGH EFFICIENCY SYSTEMS STRATEGY (HVAC HESS). Heat Pump and Heat Recovery Technologies. **HVAC HESS**, set. 2013. Disponível em: <https://www.environment.gov.au/system/files/energy/files/hvac-factsheet-heat-pump-tech.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2022.

JIA, Jing. Introduction of Heat Recovery Chiller Control and Water System Design. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE FOR ENHANCED BUILDING OPERATIONS, 6., 2006, Shenzhen. **Anais [...]**. Shenzhen: HVAC Technologies for Energy Efficiency, 2006. Disponível em: <https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/5243/ESL-IC-06-11-104.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 1 jul. 2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI). Fator médio - Inventários corporativos. **Gov.br**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 2 jul. 2022.

OLIVEIRA, Artur Cortez Bellotti de. **Avaliação energética da implementação de um sistema de trigerção com termoacumulação mediante um estudo de caso**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=33285@1>. Acesso em: 2 jul. 2022.

SCHWEDLER, Mick; BRUNSVOLD, Darryl T. **Waterside Heat Recovery in HVAC Systems**. [S. l.]: Trane, 2011.

TRANE. Water-side heat recovery: everything old is new again! **Trane Engineers Newsletter**, v. 36, n. 1, 2007. Disponível em: [https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/education-training/engineers-newsletters/waterside-design/admapn023en\\_0207.pdf](https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/global/products-systems/education-training/engineers-newsletters/waterside-design/admapn023en_0207.pdf). Acesso em: 1 jul. 2022.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acetato de celulose (CA) 88

Ácido cítrico 47, 48, 49, 50, 51, 52

Ácido peracético (PAA) 53, 55, 56, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66

Açúcares 49, 53, 57, 58, 64, 66, 67

Agentes porogênicos 97

Álcool polivinílico (PVA) 1, 6, 17

Aquecimento 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 58, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81

*Aspergillus awamori* 47, 48, 49, 52

Autoclave 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46

### B

Biomassa 50, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 87

Biorreator 49, 50

### C

Carbón 99, 100, 101, 102, 103

Células fúngicas 50

Centrifugação 86, 87, 89, 96

*Chiller* 69, 70, 72, 73, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Cinzas 58, 59

Combustível fóssil 69, 70, 71, 72, 83, 84

Condensador 70, 72, 73, 74, 75, 80, 82, 83

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) 57, 61

### D

Desaeração 34, 37

Deslignificação 53, 55, 60, 65, 67

### E

Ecossistemas 87

Efeito estufa 69, 70

Eficiência energética 69, 70

*Electrospinning* 1, 2, 6, 17, 18, 19, 22, 28, 30, 31, 32

Energia elétrica 69, 71, 77, 78, 80, 81

Energia térmica 81

Enzimas 3, 52, 53, 54, 55, 58, 63, 64, 65, 67, 87

Escala de bancada 86, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

Esterilização 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 46

Etapa de exaustão 36

*Eucalyptus* 53, 54, 55, 56, 67

## F

Filtração 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 17, 18, 19, 22, 23, 27, 28, 30, 60, 65, 87, 88, 89, 90, 94, 97

Floculação-sedimentação 86, 87, 89, 96

Fungos 2, 49, 55, 64

## G

Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) 69, 71, 77

Glicana 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64

Glicose 50, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

Gravimetria 57

## H

Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) 1

Hemicelulose 53, 54, 55, 63, 64, 67, 68

Hidrólise 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67

High Efficiency Particulate Arrestance (HEPA) 2

## I

Indústria de alimentos 33, 35

## L

Lacase 53, 55, 56, 58, 65

Lignina 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 67, 68

Lignocelulósicos 53, 54, 55

## M

Madeira 53, 61

Manômetro 37, 90

Mecanismo de *fouling* 88

Meio ambiente 69, 70, 72  
Membrana 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97  
Microalgas 86, 87, 88, 89, 90, 93, 96, 97  
Microfiltração 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98  
Microrganismo 34, 49, 51  
Minimum Efficiency Reporting Values (MERV) 1, 2, 3, 5  
Modelo matemático 34, 39, 40, 45, 46  
Monômero 62

## **N**

Nanofibras 1, 3, 6, 9, 13, 17, 18, 19, 22, 23  
Nanopartículas 1, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 24

## **O**

Organização Mundial de Saúde (OMS) 1, 3, 9

## **P**

Pirolisis 99, 100, 101, 102, 103  
Polímero 6, 18, 19, 23, 24, 60  
Processamento térmico 34, 35, 39, 46  
Processos industriais 33  
Produto alimentício 33, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45

## **R**

Reaproveitamento 53  
Rejeito térmico 70, 72  
Remoción 99, 100, 101, 102  
Resfriamento 33, 35, 36, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 78, 81, 83

## **S**

Separação gás-sólido 18  
Serragem 56, 57, 59, 64  
Solvente 18, 19, 22  
Substrato 47, 49, 50, 51, 52, 53, 59

## **T**

Temperatura 3, 30, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 66, 67, 69, 73, 74, 75, 76, 80, 88

Termômetro 37, 38

## **V**

Volatile Organic Compounds (VOCs) 2

## **X**

Xilana 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65

Xilose 53, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 66, 67

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 @atenaeditora  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# ENGENHARIA QUÍMICA:

Desenvolvimento de novos  
processos e produtos 2