

COMPARAÇÃO HOLÍSTICA DE ENERGIA E EMISSÕES PARA DESUMIDIFICAÇÃO DE PISCINAS COBERTAS

Dr. Alexandre F. Santos – etp.projetos@gmail.com

Doutor em Engenharia Mecânica. UBI (Universidade Beira Interior-Portugal); Mestre em Engenharia LACTEC-UFPR; Professor FAPRO (Faculdade Profissional).

Daiane Busanello – Daiane.busanello1@gmail.com

Especialista em Engenharia da climatização (FAPRO); Engenheira Civil (FACEAR).

▪ **Thayane Lodete Bilésimo** – thayanebilesimo@gmail.com

Mestre em Energia e sustentabilidade (UFSC); Engenheira de Energia (UFSC).

Heraldo José Lopes de Souza – heraldosouza1@gmail.com

Especialista em Engenharia da climatização; Professor FAPRO (Faculdade Profissional).

S1 Sistemas de Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento.

Resumo. *Trata-se de uma abordagem sobre sistemas de desumidificação em piscinas com envoltória fechadas, na introdução é relatado sobre quais os motivos para a alta umidade relativa e condensação nesse tipo de recinto, quais as soluções para a redução da umidade. São apresentadas duas soluções, desumidificação por refrigeração e por roda dessecante, apesar de o sistema de refrigeração possuir uma menor demanda de energia, o sistema de roda dessecante apresenta maior facilidade de manutenção e possui fluido refrigerante embarcado. Conforme comparações feitas chegou as emissões anuais de energia no Brasil foram de 36.076,50 kg CO² para o sistema de desumidificação de refrigeração e 52.728 kg CO² para o sistema de roda dessecante.*

Palavras-chave: Desumidificador, Condensação, Piscina coberta.

1. INTRODUÇÃO

A natação é um dos esportes mais praticados no planeta, sua procura é cada vez maior independentemente da idade, ela é necessária para saúde, lazer, preparo físico e sobrevivência inclusive. Os cinco estados com maiores IDH-M no Brasil, são respectivamente, Distrito Federal (0,844), São Paulo (0,814), Rio Grande do Sul (0,809), Santa Catarina (0,806) e Rio de Janeiro (0,802). Situando-se na faixa de alto desenvolvimento humano, dos cinco estados, 04 deles possuem inverno representativo tendo necessidade de piscinas cobertas e climatizadas artificialmente. Sendo piscinas em recintos fechados, a questão do controle da condensação é essencial. Entre as tecnologias mais usuais para o controle de umidade estão os sistemas de refrigeração e de rodas dessecantes, por exemplo, a região metropolitana de Curitiba – RMC, é constituída por 29 municípios. É a oitava região metropolitana mais populosa do Brasil, com 3.223.836 habitantes, e concentra 30.86 % da população do Estado. Também é a segunda maior região metropolitana do país em extensão, com 16.581,21 km², e segundo o Ashrae Weather Data Viewer 60% do tempo a temperatura é inferior a 20 °C, é impossível pensar em piscinas descobertas com apenas 10 % do tempo anual acima de 25°C (Comec, 2022).

Este artigo tem como objetivo demonstrar os dados e levantamentos de ventilação e desumidificação para estudo de redução da umidade relativa do ar em envoltório coberta de piscinas, comparando sistema de refrigeração ou roda dessecante como opção para secagem do ar com intuito de evitar condensação e proliferação de fungos, e utilizar o índice TEWI (*Total equivalent warming impact*) nessa comparação.

Um dos fatores para que geram a necessidade de desumidificação numa área de piscina coberta é a evaporação da água, que é um processo natural e é uma energia crítica de parâmetro para projetos e sistema de controle de uma piscina.

Para eliminar a condensação em superfícies frias em uma piscina, o vapor de água deve ser removido por um sistema de climatização, seja por refrigeração, seja por rodas dessecantes (TURZA, FÜRI, 2017).

O comparativo será entre equipamentos com desumidificação a refrigeração versus equipamento com roda dessecante, ambos tem como propósito a desumidificação de uma piscina tipo, a diferença entre eles é que o equipamento de desumidificação a refrigeração utiliza a expansão direta do fluido refrigerante para realizar o desumidificação do ar e o outro sistema utiliza um rotor dessecante, que é composto por sílica com banco de resistências, a roda dessecante é um componente importante e crucial que pode ser usado na construção de sistemas de ar condicionado e refrigeração para obter economia de energia relevante (ANTONELLIS et al, 2010).

Esses dois sistemas (roda dessecante e refrigeração) possuem suas peculiaridades, um deles tem uma carga de fluido refrigerante embarcada de fábrica, mas, com um COP (coeficiente de performance) interessante podendo a chegar em valores de 3 a 9 W/W, enquanto o outro trabalha em geral com sistema resistivo na área de reativação, mas não tem carga de fluido refrigerante, nesse artigo serão criadas comparações de kg CO² no decorrer da vida útil. O indicador TEWI será usado para comparar esses dois sistemas no Brasil e nos Estados Unidos, mostrando qual impacto ambiental cada solução oferece.

A cidade usada para a simulação é Campo Largo, no Paraná que têm clima Cfa segundo Köppen (subtropical; temperatura média do ar no mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média do ar no mês mais quente acima de 22 °C,

com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida) (Tabela 1) (Climate, 2022).

Dados externos e internos:

Tabela 1 – Dados climáticos e internos de Campo Largo (ABNT, 2018; ASHRAE – 2011).

Condições Externas	
Cidade	Campo Largo
Altitude (m)	906
Temperatura de Bulbo Seco - verão (°C)	31
Temperatura de Bulbo Úmido coincidente - verão (°C)	23,2
Temperatura de Bulbo Seco - inverno (°C)	8,8
Condições Internas	
Norma opção	ASHRAE 62.1
Controle de Umidade	Sim
Temperatura de Bulbo Seco Interna (°C)	28 °C (+/-2 °C)
Umidade Relativa Interna	40 % a 60 %

De acordo com a EN 15288-14, a temperatura do ar de piscina coberta preferencialmente deve ser de 0 a 4 K maior do que a temperatura da água da piscina. Além disso, a umidade relativa do ar deve estar entre 40 % e 80 %, e preferencialmente menor que 60 %, e a velocidade do ar nas proximidades dos usuários preferencialmente devem ser menores ou iguais a 0,10 m/s (EN 15288-1, 2018).

A alta umidade também pode afetar a qualidade do ar, proporcionando um ambiente propício para o crescimento de bactérias, fungos e vírus. Mantendo a umidade relativa na faixa de 50 para 60 % reduzirá o número e a atividade desses organismos (Tabela 1) (Kim et al, 2018).

Para o cálculo de ar externo na piscina é utilizado a norma Ashrae 62.1, onde deve ser considerado de 4 a 6 trocas por hora em todo o volume do recinto de piscina coberta, para isso, foram feitos levantamento in loco das medidas de uma piscina coberta na cidade de Campo Largo, para o cálculo do volume da piscina, sendo assim foi encontrado a seguinte vazão (Equação 1) (ASHRAE 62.1, 2016):

$$\text{Tipo Vazão de ar} = \text{Volume } m^3 \times \text{Número de trocas por hora recomendado em norma (1)}$$

$$\text{Vazão: } 625 m^3 \times 4 \text{ trocas de ar por hora} = 2.500 m^3/h$$

Então para a renovação de ar, independente do sistema utilizado, foi indicado um exaustor para retirada do ar e um equipamento que faz a entrada de tomada de ar externo com controle de temperatura para garantir a temperatura ideal de conforto para o usuário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A piscina necessita de umidade controlada, a umidade ideal para piscina é entre 40 % e 60 %, para evitar a condensação nos vidros, usando uma base de uma temperatura interna de 28 °C e uma umidade relativa de 60 %, a temperatura de ponto de orvalho usando o aplicativo ASHRAE Psychrometric Chart, será de 19,1 °C, isto quer dizer que qualquer entrada de temperatura do ar externo inferior ao ponto de orvalho haverá condensação, caso a umidade relativa fosse de 40 %, o ponto de orvalho iria para 12 °C, essa diferença pequena de 20% de umidade relativa representa uma diferença de problemas de condensação nas horas anuais de 60 a 12,5 %, ou seja, conforme Gráfico 1 na condição de 60 % de umidade relativa interna em 60 % das horas anuais o ar externo iria ser um problema para a condensação das paredes do ambiente de piscina, já numa umidade relativa de 40%, apenas em 12,5 % das horas anuais o ar externo iria ser um fator para condensação do ar no recinto de piscina coberta, a Figura 1 ilustra quais os elementos que são cruciais num recinto de piscina coberta (DESERT AIR, 2019; ASHRAE, 2022).

Gráfico 1 – Temperatura de Bulbo seco (ASHRAE WEATHER DATA VIEWER, 2022).

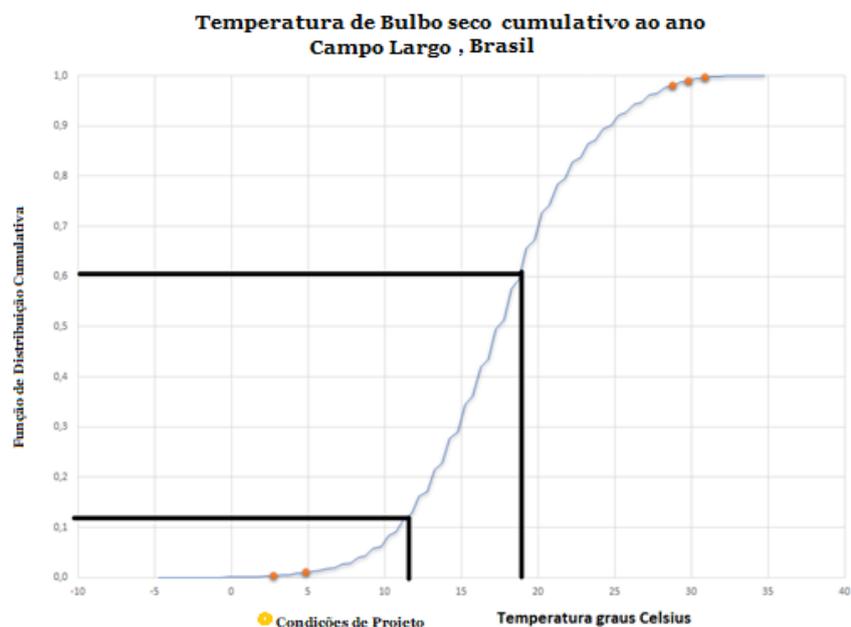
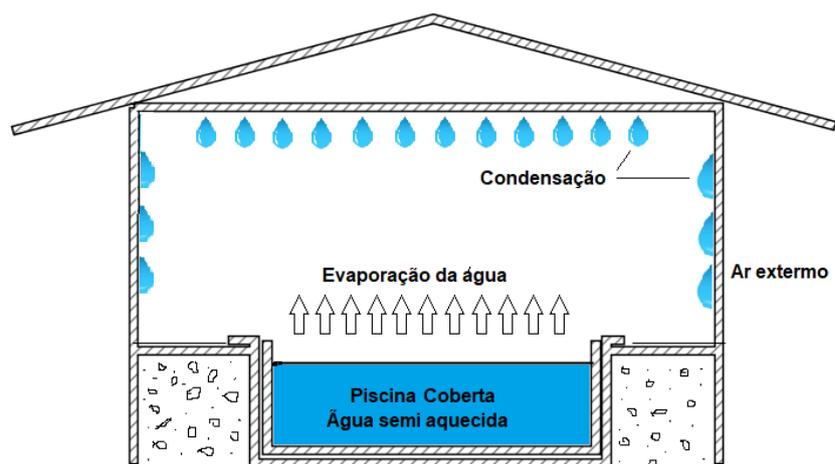


Figura 1 - Corte Esquemático Recinto Piscina Coberta (adaptado, EN 15288-1, 2018).



Para calcular a quantidade de água evaporada, existem vários fatores que são importantes, entre eles pode-se citar:

- Temperatura da água no interior da piscina;
- Tipo de atividade metabólica dos ocupantes na área interna da piscina;
- Velocidade do ar em deslocamento no filme de superfície da piscina;
- Umidade relativa do ar interior da piscina;
- Temperatura do ar interior da piscina.

Utilizando a tabela do Manual SPS Projetos de Climatização, com temperatura da água de 30°C e temperatura interna do ar do recinto de 28 °C, com uma velocidade de 0,125 m/s, considerando um recinto de uso público o Fator de Uso seria igual a 1, com essas considerações o valor de evaporação seria de 0,2142 kg de água por m², a simulação considerou uma piscina de 38 m² e uma Hidromassagem de 6 m² (HOURAHAN, 2010).

$$\text{Índice de desumidificação} = \text{área m}^2 \times \text{Fator de evaporação em kg/m}^2 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Desumidificação} &= \left(38 \text{ m}^2 \times \frac{0,2142 \text{ kg}}{\text{m}^2} \right) + \left(6 \times \frac{0,2142 \text{ kg}}{\text{m}^2} \right) \\ &= 9,4248 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Na simulação em questão tem-se 9,4248 kg/h de umidade para retirar do ambiente, em um dia, a necessidade é de 231 quilos para retirar (Equação 2). Com esse é possível fazer o comparativo do sistema entre o equipamento desumidificação a refrigeração ou com roda dessecante, para verificar em mapa de decisão qual será mais vantajoso.

2.1. Desumidificador por refrigeração

Um método que tem a vantagem de recuperar todo o calor (latente e sensível) é a desumidificação por refrigeração. O calor latente (ar úmido) é condensado e resfriado em uma serpentina desumidificador, transferindo toda a energia para um fluido refrigerante. A energia pode ser devolvida ao fluxo de ar na serpentina de reaquecimento sob a forma de calor sensível, recuperando assim quase 100 % de energia. Este calor é devolvido ao recinto interno, mantendo a temperatura do ar adequada. O aquecimento adicional é necessário apenas para compensar a perda de calor pelas janelas e paredes.

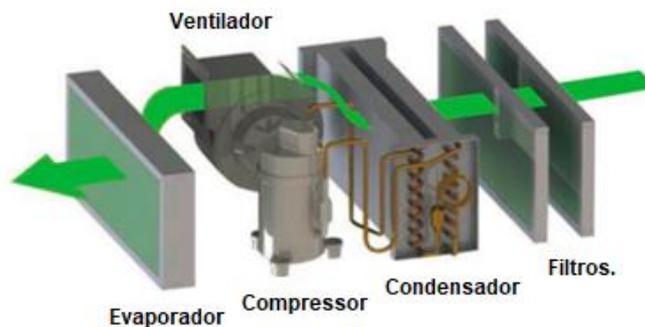
O sistema irá primeiro capturar o ar interior para passar pela filtração de ar do primeiro estágio (eficiência G4) e do segundo estágio (eficiência F5), a fim de remover partículas e contaminantes transportados pelo ar. O ar filtrado parcial entrará então no sistema de desumidificação de expansão direta para remover o excesso de umidade. O excesso de umidade no ar será condensado e se transformará em água. A água será coletada em uma bandeja de drenagem, onde será empurrada para fora com a ajuda da pressão positiva do ar processado.

O ar seco passará então através do estágio final do filtro para remover as partículas de tamanho micron e as bactérias transportadas pelo ar. O ar de saída final será limpo e seco. O mesmo processo continuará funcionando até que o ar ambiente atinja o ponto de ajuste do nível de umidade desejado.

O equipamento de desumidificação a refrigeração funciona a partir de expansão direta, via serpentina de gás refrigerante. Serpentina de cobre sofrem drasticamente com o efeito corrosivo do cloro presente no ar.

Para efeito de simulação foi utilizado um equipamento da 4Pool modelo 240C desumidifica por dia 120 kg/dia, para atender a demanda de 231 kg/dia, serão necessários utilizar 2 equipamentos, com Potência elétrica de 3,9 kW cada, e carga de gás refrigerante segundo fabricante de 5 kg do Fluido HFC 410 A em cada equipamento (Figura 2).

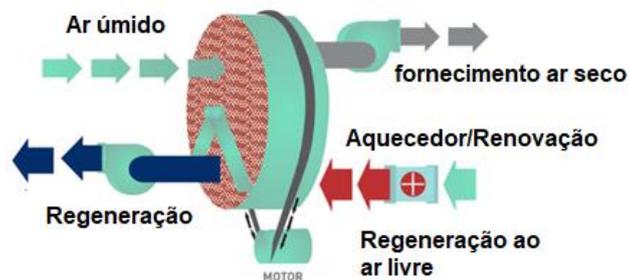
Figura 2 -Fluxo de Ar Equipamento 4Pool (4POOL, 2022).



2.2. Desumidificador Roda Dessecante

Os desumidificadores de adsorção, ou dessecantes, funcionam por intermédio de um rotor dessecante revestido de um material higroscópico (com alta capacidade adsorvente) para remover a umidade do ar de acordo com a necessidade, conforme Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Vista Interna de uma roda dessecante (BRYAIR, 2022).



As vantagens da roda dessecante são (BRYAIR, 2022):

- Longa vida útil;
- Controle preciso e digital segundo a necessidade da aplicação;
- Ajuste automático para regular a Umidade relativa da área conforme as condições ambientais;
- Opera sem perda de desempenho em ambientes cuja temperatura varia entre 0 °C até 45 °C;
- Alta performance em situações críticas e que exigem precisão;
- Não há acúmulo de água em compartimento;
- Maior investimento devido à durabilidade;

- Baixíssima manutenção.

O desumidificador deverá ser capaz de funcionar mesmo sem energização do aquecedor de reativação por períodos prolongados sem danos ao cilindro dessecante.

O desumidificador é constituído de um cilindro dessecante de alta eficiência tipo "Ecody" nesse caso o equipamento simulado foram 03 FFB 300 Ecody, com capacidade de desumidificação de 80 kg/dia cada, e potência elétrica de 3,8 kW cada, totalizando os 03 equipamentos de 11,4 kW.

Em primeira instância a desumidificação por refrigeração é mais vantajosa pelo fato que para uma mesma capacidade de 240 litros dia, possuir uma demanda de energia de 7,8 kW vs 11,4 kW da desumidificação por roda dessecante, mas, a ideia é a simulação do efeito do TEWI.

O TEWI é uma métrica do impacto do calendário global dos equipamentos baseados nas emissões totais relacionadas com o GWP durante o ciclo de vida do equipamento e as cargas/manutenção de fluidos operacionais no final de sua vida útil. A TEWI considera as emissões diretas e indiretas geradas pela energia consumida no processo do equipamento. TEWI se mede em kg de dióxido de carbono equivalente (AIRAH, 2022). O TEWI se calcula como a soma das partes:

1. Emissão direta: refrigerante liberado durante a vida útil do equipamento, incluindo as perdas não recuperadas na disposição final.
2. Emissão indireta: o impacto das emissões de CO² dos combustíveis fósseis para gerar a energia elétrica utilizada que pode ser utilizada para operar o equipamento durante sua vida.

O método de cálculo do TEWI é fornecido nas Equações (3) e (4):

$$TEWI = GWP(\text{direto, incluindo vazamentos de refrigerante EOL}) + GWP(\text{indireto, operacional}) \quad (3)$$

$$TEWI = (GWP \cdot L_{\text{anual}} \cdot n) + (GWP \cdot m \cdot (1 - \text{recuperação}) + (E_{\text{anual}} \cdot \beta \cdot n) \quad (4)$$

Onde:

EOL= Fim de vida.

GWP= Potencial de Aquecimento Global, relativo a CO² (GWP CO²=1).

L_{anual}= Taxa de vazamento por ano em kg.

n= Vida útil do sistema e anos.

m= Carga refrigerante em kg.

α_{recuperação}= Recuperação/Reciclagem a partir de 0 a 1.

β= energia consumida por anos, (kW/h p. a.).

E_{anual}= Fator de emissão indireta, (Kg CO²/kWh) (AIRAH, 2022).

O GWP (Potencial de Aquecimento Global) é um dado de entrada importante para a medição do TEWI, mas o TEWI é um indicador mais completo, pois também aborda a questão dos vazamentos de gás e emissões indiretas da matriz energética.

O custo inicial de um sistema de desumidificação é importante para o proprietário, mas o custo ambiental de operação ao longo do tempo torna-se um indicador mais completo para tomada de decisão. O valor TEWI atinge na mesma fórmula o total de energia e emissões no ciclo de vida.

Os resultados apontam que os fluidos refrigerantes têm, proporcionalmente, um impacto maior no Brasil do que em outros importantes mercados mundiais.

O fator de emissão indireta, b, dado em kg CO²/kWh, varia de acordo com a matriz energética. Por exemplo, no Brasil a matriz do sistema de energia é compartilhada na mesma transmissão para todo o país. De acordo com o Balanço Energético Nacional do Brasil (BEM, 2022), o Brasil emite 0,088 kg CO²/kWh. De acordo com a Administração de Informação de Energia (EIA, 2022), os Estados Unidos da América emitem 0,417 kg CO²/kWh.

Os dados numéricos para o GWP foram retirados do (IPCC AR04, 2022), especificamente o desumidificador por possuir equipamento com fluido R 410 A, possui um GWP de 2088 kg CO²/kg.

3. ANÁLISES E DISCUSSÃO

Para comparar os sistemas foi considerado um período de vida útil de 15 (quinze) anos, a aplicação da equação 4, é demonstrada abaixo:

$TEWI_{\text{Desumidificação}} = GWP(\text{direto, incluindo vazamentos de refrigerante EOL}) + (\text{Entrada de Energia} \cdot \text{Fator de uso} \cdot 0,8760 \cdot \beta \cdot 15)$

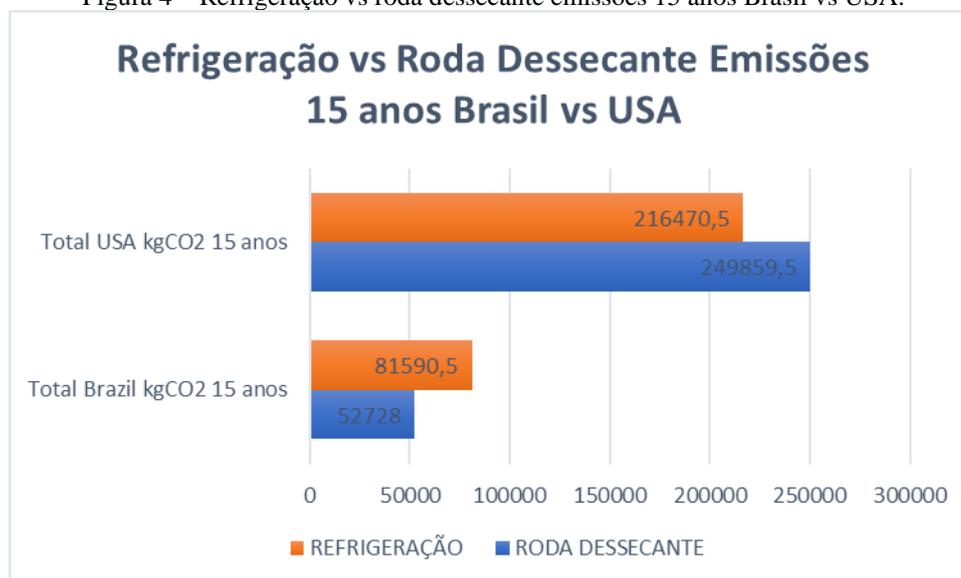
Especificamente, para emissões diretas, foi utilizado o fluido R 410 A (indicado pelo fabricante) com GWP de 2088, com peso de refrigerante de 5 kg por equipamento (como são 2 máquinas, o valor total foi de 10 kg). Em um período de 15 anos de ciclo de vida do equipamento, foi considerada uma taxa de vazamento de 12,5 % ao ano (L_{anual}), e uma recuperação de 70 % (α_{recuperação}) do fluido refrigerante, para emissões diretas. Os mesmos valores são usados para ambos os países. Aplicando a Equação 5, o componente das emissões diretas foi de 45.514 (kg CO²) para ambas as opções (AIRAH, 2012; ASHRAE, 2011).

As emissões anuais de energia no Brasil foram de 36.076,50 kg CO² para o sistema de desumidificação de refrigeração e 52.728 kg CO² para o sistema de roda dessecante, nos Estados Unidos foi de 170.956,50 kg CO² para o

sistema de desumidificação de refrigeração e 249.859,50 kg CO² para o sistema de roda dessecante (Figura 4), em geral pode-se dizer que:

O Brasil possui menor emissões em ambas as soluções que os Estados Unidos.

Figura 4 – Refrigeração vs roda dessecante emissões 15 anos Brasil vs USA.



Enquanto no Brasil a solução mais sustentável é a roda dessecante, nos Estados Unidos a solução mais sustentável é a refrigeração.

Assim, mostra-se a influência da matriz energética para decisão na verificação de qual o melhor sistema de acordo com a emissões da matriz energética dos países.

Para melhor comparação entre os sistemas foi criado uma tabela de decisão com os seguintes pesos (Tabela 2):

Tabela 2-Tabela de decisão.

Característica	Peso
Energia	10
Capex	5
Fluido Refrigerante	5
Nível de ruído	5
Facilidade Manutenção	5
Controle Preciso	5

Nessa tabela 2, a energia passou a ter um peso maior, o investimento inicial (Capex) tem um peso de 50 % da energia, o fluido refrigerante que tem danos a camada de ozônio e efeito estufa também foi considerado na tabela de decisão, o nível de ruído e questões de manutenibilidade (facilidade da manutenção), além do controle preciso da umidade (Santos et al, 2022).

Essa tabela 3, gera uma visão melhor, pois não fixa apenas no dinheiro, mas, também em valores conectados com a sustentabilidade como a questão do fluido refrigerante.

Nesse caso a comparação ficou:

Tabela 3 – Comparação Desumidificação por Refrigeração e por Roda Dessecante.

Característica	Peso	Refrigeração	Roda Dessecante
Energia	10	10	5,78
Capex	5	2,73	5
Fluido Refrigerante	5	0	5
Nível de ruído	5	4	5

Facilidade Manutenção	5	4	5
Controle Preciso	5	4	5
		24,73	30,78

4 Conclusão

Uma questão muito importante é de grande importância no cotidiano atual é ter uma sustentabilidade e qualidade de vida e em questão científica importante é como medi-las.

A natação é considerada um esporte mais completo, as piscinas cobertas ou fechada com climatizadores artificialmente, são a opção mais viável em um clima frio e temperado, só que essas coberturas neste tempo frio provocam condensações nas janelas e paredes, como soluções a serem utilizadas contra esta condensação seria desumidificadores por refrigeração e com rodas dessecantes. A área da piscina deste projeto foi de 38 m² e foi base usada nas metodologias Ashrae que constatou a necessidade de desumidificação.

A questão do controle da condensação é essencial, entre as tecnologias mais usuais para o controle de umidade estão os sistemas de refrigeração e de rodas dessecantes, analisando exclusivamente a demanda de energia o sistema de refrigeração é muito mais eficiente, mas possui as desvantagens de muitas peças móveis em alta rotação como compressor, evaporador, condensador e elemento de expansão, além da questão de carga de fluido refrigerante que possui alto GWP (Global Warming Potencial), por exemplo o GWP do R 404 A é de 3922 kg CO², enquanto o sistema de roda dessecante não possui fluido refrigerante, além de possuir maior vida útil por não possuir serpentina de cobre que é mais corrosivo comparado a um rotor dessecante de sílica, olhando do ponto de vista holístico pelo mapa de decisão o melhor sistema para desumidificação de piscinas é o de roda dessecante.

É importante ressaltar que países de matrizes energéticas mais sustentáveis como o Brasil a questão do fluido refrigerante tem mais peso na tomada de decisão de solução mais sustentável.

Foi desenvolvido um método para medir o TEWI para piscinas, lembrando que não há emissões diretas na roda dessecante devido à ausência de fluido refrigerante, comparando as tecnologias em dois países (Brasil e Estados Unidos) e medindo a e emissões indiretas de kg CO² verificou-se que para o Brasil a melhor opção é o uso de rodas dessecantes e para os EUA a refrigeração.

As emissões da matriz energética têm grande influência no valor do TEWI, mas um fator importante é o impacto do gás refrigerante a bordo do equipamento.

Uma sugestão para futuras simulações é projetar desumidificadores a partir de fluidos como HFOs (hidrofluorolefinas) que tenham um impacto GWP menor, mas, que ainda não foram encontrados por pesquisadores para desumidificar em campo com tal gás refrigerante.

Referências

- ABNT. ABNT-NBR 16401-2018. Instalação de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1- Projetos de instalações. ICS 91.140.30. ISBN 978-85-07-00889-7.
- AIRAH. Diretrizes de Boas Práticas; Instituto Australiano de Refrigeração, Ar Condicionado e Aquecimento (AIRAH): Melbourne, Austrália, 2012; Disponível online: https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf (acessado em 20 de junho de 2022).
- ANTONELLIS, Stefano de; Joppolo, Cesare M.; Molinaroli, Luca. Simulation, performance analysis and optimization of desiccant wheels. Dipartimento di Energia, Politecnico di Milano, Via Lambruschini, 4, 20156 Milan, Italy. Revista: Energy and Buildings. Setember 2010.
- ASHRAE (2011). ASHRAE Handbook - HVAC Applications. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., p.5.6-5.9.
- EN 15288-1:2018. Swimming pools for public use - Part 1: Safety requirements for design. ICS 97.220.10 - Sports facilities.
- ASHRAE 62.1 – 2016. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality Table 6.2.2.1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone ISSN 1041-2336.
- ASHRAE- 2022. Carta Psicrométrica. Disponível em <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/psychrometrics>. Acessado em 20/06/2022.
- ASHRAE WEATHER DATA VIEWER. International Weather for Energy Calculations, version 2.0.
- ASHRAE. Diretrizes Térmicas para Ambientes de Processamento de Dados, 3ª ed.; Série ASHRAE Datacom: Comitê Técnico ASHRAE (TC) 9.9—Instalações de Missão Crítica, Espaços Tecnológicos e Equipamentos Eletrônicos; Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, Inc.: Atlanta, GA, EUA, 2011
- BRYAIR. Desumidificador mecânico ou dessecante qual escolher na hora de comprar. Disponível em <https://www.bryair.com.br/blog/desumidificador-mecanico-ou-dessecante-qual-escolher-na-hora-de-comprar/>. Acessado em 20/06/2022.

- CLIMATE. Clima de São José dos Pinhais – Brasil. Disponível em <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/parana/sao-jose-dos-pinhais-4495/>. Acessado em 19/06/2022.
- COMEC. Região Metropolitana de Curitiba. Disponível em <https://www.comec.pr.gov.br/Pagina/Regiao-Metropolitana-de-Curitiba#:~:text=Constitu%C3%ADda%20por%2029%20munic%C3%ADpios%2C%20a.extens%C3%A3o%2C%20com%2016.581%2C21km%C2%B2>. Acessado em 26/06/2022.
- DESERT AIR. Swimming Pool Dehumidifier Sizing. Application Note 10. Optimizing solutions through superior dehumidification technology. 110 2019/01.
- DISTRICT HEATING BY CONTROL OF INDOOR PUBLIC SWIMMING POOL. Aarhus University, Aarhus, Denmark.
- EIA. Quanto dióxido de carbono é produzido por quilowatt-hora de geração de eletricidade dos EUA? US Energy Information Administration (EIA): Washington, DC, EUA, 2020. Disponível online: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=74&t=11> (acessado em 20 de janeiro de 2021).
- EPE. Balanço Energético Nacional Relatório Síntese/Ano Base; Ministério de Minas e Energia—MME/Empresa de Pesquisa Energética—EPE, República Federativa do Brasil: Brasília, Brasil, 2018. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. acessado em 20 de junho de 2022).
- HOURAHAN, Glenn. SPS Manual HVAC Design for Swimming Pools and Spas. 2010.
- IPCC AR 04. Fourth Assessment Report. Disponível em <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/>. Acessado em 24/06/2022.
- SANTOS, A.F.; GASPAR, P.D.; DE SOUZA, H. J. L. Evaluating the Energy Efficiency and Environmental Impact of COVID-19 Vaccines Coolers through New Optimization Indexes: Comparison between Refrigeration Systems Using HFC or Natural Refrigerants. License MDPI, Basel, Switzerland. 2022. Doi.org/10.3390/pr10040790.
- KIM, Michael; Dahl, Knudsen; Steffen, Petersen. Building Performance Analysis Conference and SimBuild co-organized by ASHRAE and IBPSA-USA Chicago, IL September 26-28, 2018. PEAK LOAD REDUCTION OF THERMOMATIC. Como funciona um desumidificador dessecante. Disponível em <te.html#:~:text=Os%20desumidificadores%20de%20adsor%C3%A7%C3%A3o%2C%20ou,de%20acordo%20com%20cada%20segmento>. Acessado em 20/06/2022.
- TURZA, Róbert, FÜRI, Belo B. EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF THE WATER EVAPORATION RATE OF A PHYSICAL MODEL. Slovak Journal of Civil Engineering Vol. 25, 2017, No. 1, 19 – 24 DOI: 10.1515/sjce-2017-0003.
- 4POOL. Catálogo Técnico 4Pool, 2022.

HOLISTIC COMPARISON OF ENERGY AND EMISSIONS FOR DEHUMIDIFYING INDOOR POOLS

Abstract. *It is an approach to dehumidification systems in swimming pools with closed envelopes, in the introduction it is reported on the reasons for the high relative humidity and condensation in this type of enclosure, what are the solutions for reducing humidity. Two solutions are presented, dehumidification by refrigeration and desiccant wheel, although the cooling system has a lower energy demand, the desiccant wheel system is easier to maintain and has on-board refrigerant. According to comparisons made, the annual energy emissions in Brazil were 36,076.50 kg CO² for the refrigeration dehumidification system and 52,728 kg CO² for the desiccant wheel system.*

Keywords: Dehumidifier, Condensing, Indoor pool.