



New index for sustainability in climate control - TWI (Total Water Impact)

Alexandre F. Santos - projetos.etp@gmail.com
Universidade Beira Interior
Pedro Dinis Gaspar - dinis@ubi.pt
Universidade Beira Interior

Abstract

Sales for air conditioning are growing rapidly in buildings, more than tripling between 1990 and 2016. This energy use for air conditioning comes from a combination of rising temperatures, rising population and economic growth. Energy demand for climate control will triple by 2050, consuming more energy than the United States, the European Union and Japan today. This increase in energy will directly impact water consumption, either to cool a condenser of equipment directly or to serve indirectly as a basis for energy sources such as hydroelectric power that feed into these HVAC systems. Knowing the unique and growing importance of water, a new index, Total Water Impact (TWI) is presented, which allows a holistic comparison of the impact of water use on water, air and evaporative condensation climate systems.

Keywords

Water cooled condenser., Air cooled condenser., HAVAC, Evaporative, TWI

Novo índice de sustentabilidade em climatização - TWI (Total Water Impact)

1. Introdução

Segundo o Fundo Mundial para a Natureza (World Wide Fund for Nature - WWF) [1], existem mais de 326 milhões de trilhões de litros de água na terra. Menos de 3% de toda essa água é água doce e, dessa quantidade, mais de dois terços encontram-se em calotas polares e icebergs. Ainda segundo o ministério de meio ambiente brasileiro [2], a água doce não está distribuída uniformemente pelo globo. A sua distribuição depende essencialmente dos ecossistemas que compõem o território de cada país. Segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), na América do Sul encontra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e apenas 6% da população mundial, enquanto que o continente asiático possui 36% do total de água e abriga 60% da população mundial (ver Figura1) [3].

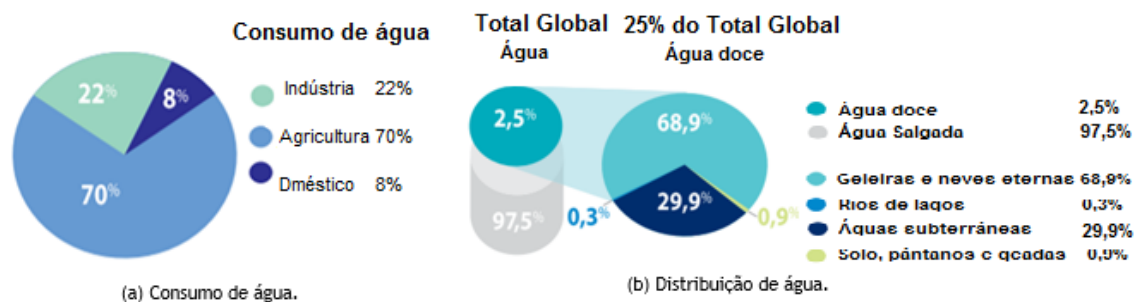


Figura 1 - Consumo de água e distribuição de água Mundial [3].

O consumo diário de água é muito variável ao redor do globo. Além da disponibilidade do local, o consumo médio de água está fortemente relacionado com o nível de desenvolvimento do país e com o nível económico. Um indivíduo necessita de, pelo menos, 40 litros de água por dia para beber, tomar banho, escovar os dentes, lavar as mãos e cozinhar. Dados da ONU [4], porém, apontam que um europeu, que tem no seu território 8% da água doce no mundo, consome em média 150 litros de água por dia. Já um indiano, consome 25 litros por dia. Segundo estimativas da UNESCO, a continuação do ritmo atual de crescimento demográfico e o não estabelecimento de um consumo sustentável da água, levará que em 2025 o consumo humano pode chegar a 90%, restando apenas 10% para os outros seres vivos do planeta [3].

O Brasil, com uma área de aproximadamente 8.514.876 km² [5] e mais de 190 milhões de habitantes, é hoje o quinto país do mundo, tanto em extensão territorial como em população. Em função de suas dimensões continentais, o Brasil apresenta grandes contrastes relacionados não somente ao clima, vegetação original e topografia, mas também à distribuição da população e ao desenvolvimento económico e social, entre outros fatores.

De maneira geral, o Brasil é um país privilegiado quanto ao volume de recursos hídricos, pois abriga 13,7% da água doce do mundo. Porém, a disponibilidade desses recursos não é uniforme. Como demonstrado a Figura 2, mais de 73% da água doce disponível no país encontra-se na bacia Amazónica, que é habitada por menos de 5% da população.

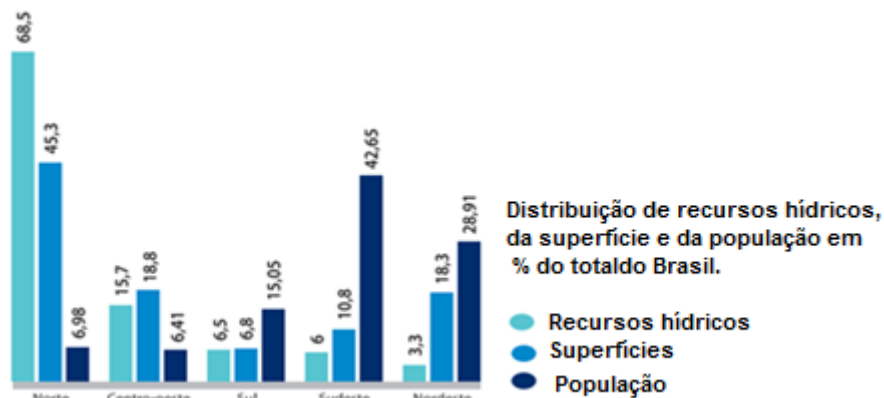


Figura 2 - Distribuição de recursos hídricos das regiões do Brasil [6].

Apenas 27% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para as demais regiões, onde residem 95% da população do país. Não só a disponibilidade de água não é uniforme, mas a oferta de água tratada reflete os contrastes no desenvolvimento dos Estados brasileiros. Enquanto na região Sudeste, 87,5% dos domicílios são atendidos por rede de distribuição de água, no Nordeste a percentagem é de apenas 58,7% (ver Figura 2).

O Brasil registra também elevado desperdício: de 20% a 60% da água tratada para consumo perde-se na distribuição, dependendo das condições de conservação das redes de abastecimento. Além dessas perdas de água no caminho entre as estações de tratamento e o consumidor, o desperdício também é grande nas residências, envolvendo, por exemplo, o tempo necessário para tomar banho, a própria forma como se toma banho, a utilização de descargas sanitárias que consomem muita água, a lavagem da louça com água corrente, no uso da mangueira como vassoura na limpeza de calçadas, na lavagem de carros etc. [6].

Segundo a IEA (International Energy Agency), existem mais de 500 milhões de ar condicionados no mundo, e existem 2,8 bilhões de pessoas vivendo nos locais mais quentes do mundo e apenas 8% tem ar condicionado. Os números de equipamentos de ar condicionados irão aumentar de 1,6 bilhões em 2018 para 5,6 bilhões em 2050. Para tal, serão vendidos 10 novos aparelhos de ar condicionados a cada segundo. A capacidade de alimentação elétrica para ar condicionado em 2050, será o equivalente à procura elétrica dos EUA, da União Europeia e Japão nos dias de hoje. Devido à importância da eficiência energética e do uso da água nos sistemas de climatização, o objetivo deste artigo é gerar um balanço destes dois preciosos recursos [7].

Os sistemas de ar condicionado e climatização estão entre os grandes consumidores de água doce, segundo a ABRVA, a capacidade em toneladas de refrigeração instaladas no Brasil chegará a 60 milhões de toneladas de refrigeração em 2029 [8]. Sabendo-se da importância e conexão dos sistemas de climatização e do consumo de água, a ideia é criar um índice para mensurar o consumo de água direto e indireto em sistemas de ar condicionados.

2. Geração de energia e consumo de água no Brasil, Portugal e EUA

Devido estar presente em mais de 70% da biosfera, a água é um recurso essencial para plantas de geração de energias. Segundo Laboratório Nacional de Energia Renovável, o consumo de água por kWh gerado é indicado na Figura 3 [9].

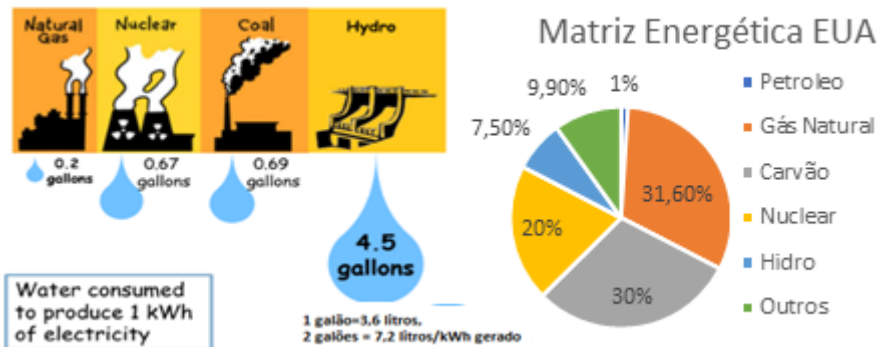


Figura 3 - Consumo de água para geração de 1kWh [9].

Segundo a APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis, só no primeiro semestre de 2018 as energias renováveis geraram 17.204 GWh, que representa 61% do total (28.174 GWh) da produção elétrica de Portugal Continental. Este resultado é bastante impulsionado pela maior disponibilidade de recursos, em especial, hídricos e eólicos [10]. No período em análise é ainda de destacar positivamente um conjunto de 623 horas, não consecutivas, o que equivale a 26 dias, em que a eletricidade renovável foi suficiente para, só por si, abastecer o consumo elétrico Português (Figura 4).

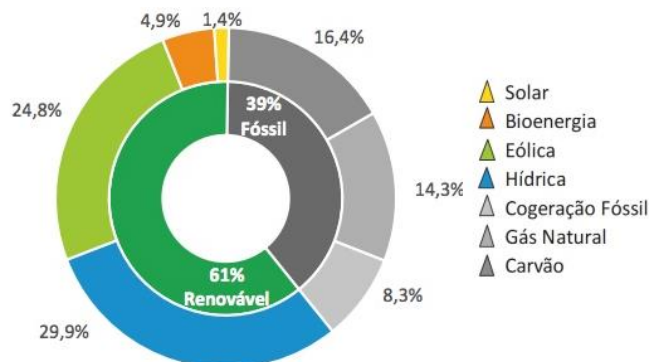


Figura 4 - Matriz energética elétrica de Portugal [10].

Já no Brasil, Segundo o balanço energético nacional de 2018 - [11], a distribuição de geração de energia elétrica, tem a distribuição apresentada na Figura 5. É predominante a geração de energia por via hidroelétrica, com 65,2%. A participação de centrais solares na produção de eletricidade no Brasil é ainda pequena.

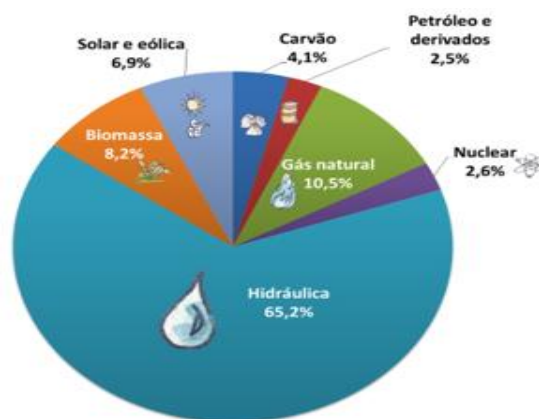


Figura 5 - Matriz energética elétrica do Brasil [11].

Em forma mais resumida somando as pequenas hidroelétricas e centrais hidroelétricas (Tabela 1), verifica-se que a geração hidroelétrica, termoelétrica e renovável é a mais elevada no Brasil, EUA e Portugal, respectivamente.

Tabela 1 - Tipos de geração Brasil, EUA e Portugal.

Tipos de geração	Brasil	EUA	Portugal
Hidroelétricas	65,200%	7,500%	29,900%
Termoelétrica (carvão mineral, vegetal e petro)	14,800%	31,000%	24,700%
Termoelétrica (gas natural)	10,500%	31,600%	14,300%
Nuclear	2,600%	20,000%	0,000%
OUTROS (FOTOVOLTAÍCO+EÓLICO)	6,900%	9,900%	31,100%

Pela ausência de estudos da quantidade de água usada por kWh gerado em fontes de energia como, fotovoltaica e eólicas, mesmo sabendo que é necessário de água para limpar as placas fotovoltaicas e as hélices dos sistemas eólicos, será considerado o índice de 0 litros de água por kWh para essas fontes na Equação 1. Assim vem que a quantidade de litros de água utilizados por kWh gerado em cada país vem:

$$LAG_{País} = (\%ghca) + (\%gtca) + (\%gtgnca) + (\%gnca) + (\%goca) \quad (1)$$

Onde:

$LAG_{país}$ = Litros de Água por kWh gerado no país;

$\%ghca$ = % geração hidroelétrica - consumo de água por kWh hidroelétrica;

$\%gtca$ = % geração termoelétrica carvão e petróleo - consumo de água por kWh termoelétrica;

$\%gtgnca$ = % geração termoelétrica gás natural - consumo de água por kWh termoelétrica;

$\%gnca$ = % geração nuclear - consumo de água por kWh nuclear;

$\%goca$ = % geração de outras fontes (renovável) - consumo de água por kWh outros.

$$LAG_{Brasil} = (0,652 \times 16,2) + (0,148 \times 2,49) + (0,105 \times 0,72) + (0,026 \times 2,412) + (0,069 \times 0)$$

$$LAG_{Brasil} = 11,071 \text{ L/kWh}$$

$$LAG_{EUA} = (0,075 \times 16,200) + (0,3001 \times 2,490) + (0,316 \times 0,720) + (0,200 \times 2,412) + (0,099 \times 0)$$

$$LAG_{EUA} = 2,697 \text{ L/kWh}$$

$$LAG_{Portugal} = (0,299 \times 16,2) + (0,247 \times 2,49) + (0,143 \times 0,72) + (0 \times 2,412) + (0,311 \times 0)$$

$$LAG_{Portugal} = 5,561 \text{ L/kWh}$$

Devido ao alto índice de hidroelétricas no Brasil, o consumo de água por kWh gerado é 410,5% superior ao valor da média do EUA e 50,22% em relação a Portugal, conforme o gráfico exposto na Figura 6.

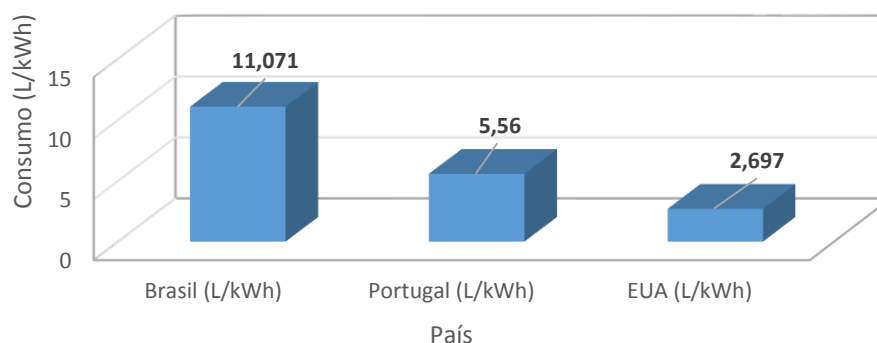


Gráfico 6 - Consumo de água (L/kWh_{gerado})

3. Total Water Impact (TWI)

O índice TWI (Total Water Impact) é dado pela quantidade de água de forma holística necessária para os equipamentos de ar condicionado no período de vida útil do equipamento (Figura 7).

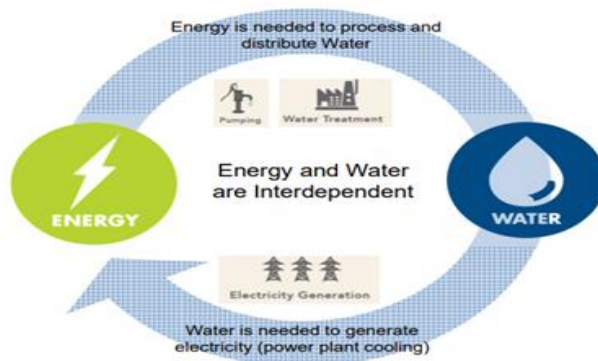


Figura 7 - Energia- Água [11].

As interdependências entre os sistemas de água e energia são claras e estão a tornar-se mais proeminentes, pois o desenvolvimento requer o uso de mais recursos, enquanto o uso excessivo e a mudança climática tornam alguns recursos mais escassos. No nível macro, a água é usada em todas as fases de produção de energia e geração de eletricidade (incluindo energias renováveis). A energia é necessária para extrair, transportar e fornecer água, e para tratar águas residuais antes de seu retorno ao meio ambiente. No nível micro, o vínculo água-energia (water-energy nexus) é uma consideração importante para a comunidade Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado & Refrigeração (AVAC&R), dedicada ao projeto e determinação de equipamentos e seleção de sistemas e design, bem como na operação de construção. Uma das formas inteligentes de analisar a eficiência energética de equipamentos de grande porte é dado por indicadores de eficiência, no caso pelo valor de carga não padrão (Non-standard Part Load Value - NPLV). Especificamente, o NPLV é derivado do valor integrado de carga parcial (Integrated Part Load Value - IPLV). O IPLV ou NPLV são usados para avaliar a eficiência do chiller em diferentes condições de carga. As fórmulas de cálculo do IPLV e NPLV são as mesmas. A única diferença entre IPLV e NPLV é que o IPLV é calculado conforme a condição especificada em AHRI_Standard_550-590, enquanto que o NPLV é calculado conforme a condição do local onde o equipamento é instalado [12].

Especificamente, o TWI simplificado é dado pela Equação (2):

$$TWI = (CTA \cdot NPLV \cdot VUE \cdot IGR) + (CTA \cdot VUE \cdot AUPTR) \quad (2)$$

Onde:

TWI = Impacto total da água, em m³;

CTA = Carga Térmica anual, em TR/ano;

NPLV = Eficiência de carga não padrão, em kW/TR;

VUE = Vida útil equipamento, em ano;

IGR = Índice de Caudal específico da região calculada, em m³/kW_{gerado};

AUPTR = Água usada por TR, em m³/TR de evaporação, arraste e purga.

A Eficiência de carga não padrão, NPLV, deve possuir a soma rateada por TR da Bomba de Condensação e do Ventilador da Torre.

O resultado será o impacto total de uso de água de forma holística do período de vida útil do sistema.

Já existe um indicador que é conhecido como TEWI (Total Equivalent Warming Impact) que é a soma das emissões diretas e indiretas por meio das perdas de gás refrigerante e do consumo de energia no período de vida útil, o TWI tem por propósito de medir consumo de água direto e indireto no período de vida útil, ou seja, a diferença entre eles é que enquanto o TEWI mensura o GWP (Global Warming Potencial), TWI mensura o consumo de água.

4. Comparação de condensação a água e a ar

Nesta seção são determinados e comparados os valores dos índices sistemas com condensação a ar e a água. A Figura 8 ilustra o tipo de dispositivos requeridos no caso da utilização de chillers com condensação a ar ou a água.



(a) Chiller com condensação a ar.

(b) Chiller com condensação a água.

Figura 8 - Comparação de sistemas de refrigeração a água e a ar [13].

O sistema de refrigeração à ar, é um projeto baseado na temperatura do bolbo seco:

- Maior área ocupada (mais área de superfície);
- Nível de ruídos mais alto;
- Maior consumo de energia: menor eficiência;
- Não consome água, no local (sem resfriamento evaporativo).

O sistema de refrigeração à água, é um projeto baseada na temperatura do bolbo húmido:

- Menor área ocupada (normalmente requer sala de equipamentos);
- Nível de ruídos baixo;
- Menor consumo de energia: maior eficiência;
- Consome água (resfriamento evaporativo).

Para usar como exemplo será comparado um sistema condensação a ar e à água para uma capacidade total de 200 TR com as seguintes características, foi feita uma simulação entre chiller condensação a ar nacional (tipo compressor parafuso modelo Samurai fabricado no Brasil) e chiller condensação à água importado (modelo RTHD fabricado USA) (Tabelas 2 e 3):

Tabela 2 - Parâmetros dos sistemas de 200 TR.

Parâmetro	Condensação a água	Condensação a ar
Chiller eficiência carga plena (kW/TR)	0,65	1,4
Chiller eficiência carga parcial NPLV (kW/TR)	0,36	1,06
Capacidade total do sistema TR	200	200
Carga térmica média anual TR	150	150
Bomba de condensação kWinput	6,2664	0
Ventilador da torre kWinput	4,1776	0
Horas de operação no ano	4380	4380
Carga térmica anual TR/ano	657000	657000
Índice de água por m ³ /kW gerado região	0,011071	0,011071
Índice de consumo de água/TR, Torre (m ³ /TR)	0,0072	0
TWI em m ³	110233,694	115650,987

Neste caso o TWI para cada opção (condensação a água e ar) Segundo a Equação 2 vem:

$$TWI_{\text{condensação água}} = [657000 \text{ TR/ano} \times 0,36 \text{ kW/TR} \times 15 \text{ anos} \times 0,011071 \text{ m}^3/\text{kW}] + [657000 \text{ TR/ano} \times 15 \text{ anos} \times 0,0072 \text{ m}^3/\text{TR}]$$

$$TWI_{\text{condensação água}} = 110233,694 \text{ m}^3$$

$$TWI_{\text{condensação ar}} = [657000 \text{ TR/ano} \times 1,06 \text{ kW/TR} \times 15 \text{ anos} \times 0,011071 \text{ m}^3/\text{kW}] + [657000 \text{ TR/ano} \times 15 \text{ anos} \times 0 \text{ m}^3/\text{TR}]$$

$$TWI_{\text{condensação ar}} = 115650,987 \text{ m}^3$$

Como outro exemplo, será comparado um sistema condensação a ar e a água para uma capacidade total de 500 TR, com NPLV [13], com as características expostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros dos sistemas de 500 TR.

Parâmetro	Condensação a água	Condensação a ar
Chiller eficiência carga plena (kW/TR)	0,585	1,237
Chiller eficiência carga parcial NPLV (kW/TR)	0,38	0,745
Capacidade total do sistema TR	500	500
Carga térmica média anual TR	290	290
Bomba de condensação kWinput	15,666	0
Ventilador da torre kWinput	10,444	0
Horas de operação no ano	4380	4380
Carga térmica anual TR/ano	1270200	1270200
Índice de água por kW gerado região	0,011071	0,011071
Índice de consumo de água/TR, Torre (m ³ /TR)	0,0072	0
TWI em m ³	221963,639	166217,419

*Eficiência baseada na ASHRAE 90.1-2013. Especificamente neste caso IPLV=NPLV por não se tratar de uma cidade em específico [14].

Neste caso o TWI para cada opção (condensação a água e ar), conforme equação 2, fica:

$$TWI_{\text{condensação água}} = [1270200 \text{ TR/ano} \times 0,38 \text{ kW/TR} \times 15 \text{ anos} \times 0,011071 \text{ m}^3/\text{kW}] + [1270200 \text{ TR/ano} \times 15 \text{ anos} \times 0,0072 \text{ m}^3/\text{TR}]$$

$$TWI_{\text{condensação água}} = 221963,639 \text{ m}^3$$

$$TWI_{\text{condensação ar}} = [1270200 \text{ TR/ano} \times 0,745 \text{ kW/TR} \times 15 \text{ anos} \times 0,011071 \text{ m}^3/\text{kW}] + [1270200 \text{ TR/ano} \times 15 \text{ anos} \times 0 \text{ m}^3/\text{TR}]$$

$$TWI_{\text{condensação ar}} = 166217,419 \text{ m}^3$$

Tanto nos sistemas de condensação a ar ou a água com capacidades de 200 TR ou 500 TR, o consumo de água por kWh gerado, e o índice de consumo de água/TR, Torre (m³/TR) possuem os mesmos valores.

Utilizando o cálculo do TWI, que procura compreender o consumo de água de forma holística, mostra-se a necessidade para os equipamentos de ar condicionado no período da vida útil dos equipamentos.

Verificando os resultados do TWI nas duas tabelas 2 e 3, especificamente na comparação hipotética dos sistemas de 200 TR a água (Importado) e a ar (nacional), o índice TWI foi menor no sistema do tipo condensação à água. Ou seja, de forma holística, o consumo de água foi maior no sistema de condensação a água do que no sistema de condensação a ar.

No sistema com potência de refrigeração de 500 TR, conforme a ASHRAE 90.1 de 2013 [14], considerando chillers com condensação a ar e condensação a água, o maior valor do índice TWI foi obtido no chiller com condensação a água.

É compreensível que os projetistas estejam preocupados com a eficiência do chiller. Vários fatores, como, manutenção deficiente, mau funcionamento, dimensionamento inadequado, etc. afetam essa eficiência. As partes interessadas na indústria sabem que qualquer elemento que melhore qualquer aspecto da eficiência do arrefecedor pode ter um impacto enorme. Já no caso do sistema com potência de 500 TR, onde foram usados os valores da ASHRAE 90.1 de 2013 como fonte de NPLV, o valor do índice TWI foi menor no chiller condensação a ar.

À medida que novos padrões surgem, a eficiência do chiller está a tornar-se cada vez mais importante: chillers de mancal magnético com condensação a água em locais de temperaturas amenas possuem baixo NPLV, levando certamente no futuro a índices TWI menores que chillers com condensação a ar [14].

5. Conclusão

Com o índice TWI é possível obter uma visão holística do consumo de água num espaço de tempo. Com esta metodologia pode-se observar que algumas vezes um sistema com condensação a ar tenha um maior consumo de água do que um sistema com condensação a água.

Ainda não foi considerado consumo de água para limpar a serpentina do condensador a ar (até por que a limpeza do condensador à água é usada varetamento) e não foi incluída a água de limpeza das fontes eólicas e solares de energia, por ainda não se encontrar esse valor disponível na literatura científica.

Foram usados dois exemplos simples, mas os valores de NPLV de sistemas com compressores de mancal magnético em chillers com condensação a água são cada vez menores. A mesma metodologia pode ser usada em sistemas com volume de refrigerante variável (Variable Refrigerant Flow - VRF) com condensação a água e a ar. Em trabalhos futuros poderão ser simulados sistemas geotérmico e drycoolers para o TWI.

Entre os indicadores para escolher o melhor sistema de refrigeração e até mesmo para sistemas com certificação LEED¹ o TWI poderá ser um indicador de qualidade. Também pode ser considerado um TWI pro rata por TR (Tonelada de refrigeração) (resultado dividido pela carga térmica no período de vida útil) para as tomadas de decisão.

Referências

[1] WWF. Programa Hidrológico mundial. Disponível em https://www.wwf.org.br/wwf_brasil/wwf_mundo/ Acessado 2019.

[2] MMA. Água. Disponível em https://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf. Acessado em 10/-3/2019.

[3] UNESCO. Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco). Disponível em <http://ihp-wins.unesco.org/> Acessado em 2019.

[4] ONU. Consumo de água mundial. Disponível em <https://nacoesunidas.org/acao/agua/> Acessado em 2019.

¹ Certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) - Certificação para construções sustentáveis, concebida e concedida pela organização não-governamental United States Green Building Council (USGBC), com intuito de promover e estimular práticas de construções sustentáveis, satisfazendo critérios para uma construção verde, analisando o comportamento de sete aspectos da construção: Localização e Transporte, Lotes Sustentáveis, Eficiência da Água, Energia e Atmosfera, Materiais e Recursos, Qualidade Interna dos Ambientes e Inovação e Prioridades Regionais.

- [5] IBGE. Anuário estatístico. Instituto Brasileiros de Geografia e Estatística - IBGE. Rio de Janeiro. 2017.
- [6] ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Brasília. 2013.
- [7] IEA. Estatísticas. Disponível em <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES> Acessado em 2019.
- [8] ABRAVA. Seminário Brasileiro de Etiquetagem em Eficiência Energética para sistemas AVAC. São Paulo. 2018.
- [9] NREL. National Renewable Energy Laboratory. Disponível em <https://www.nrel.gov/> Acessado em 2019.
- [10] APREN. Boletim Energias Renováveis. Portugal. 1º semestre de 2018.
- [11] EPE. Balanço Energético Nacional. Disponível em <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> Acessado em 13/09/2019.
- [12] AHRI_Standard_550-590. Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle. 2015.
- [13] ASHRAE. ASHRAE ENERGY WATER NEXUS - Denver. 2019.
- [14] ASHRAE/ANSI/IES Standard 90.1-2016 -- Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. 2016.