

Aproveitamento de água gerada por ar-condicionados para fins não potáveis

Use of water generated by air conditioners for non-potable purposes

Uso de agua generada por acondicionadores de aire para fines no potables

Allan Jayson Nunes de Melo

Mestre em Engenharia Civil, UPE, Brasil
ajnm@poli.br

Maria Carolina Duarte Marques Soares

Mestre em Engenharia Civil, UPE, Brasil
mcdms@poli.br

Simone Rosa da Silva

Professora Doutora, UPE, Brasil
simonerosa@poli.br

Willames de Albuquerque Soares

Professor Doutor, UPE, Brasil
was@poli.br

RESUMO

Este estudo tem por objetivo avaliar a viabilidade do aproveitamento da água do condensado, proveniente dos aparelhos de ar condicionado, para fins não potáveis em uma edificação de tipologia hospitalar localizada na cidade do Recife-PE, Brasil. A metodologia aplicada foi dividida nas seguintes etapas: investigação da quantidade de água gerada pelo condensado, onde se utilizou de três maneiras para observar o volume de água produzida, a primeira através da coleta com proveta graduada e aplicação de equações, a segunda através de hidrômetros instalados na rede de drenagem do condensado e a terceira através da instalação de um pluviômetro com arduino no dreno do equipamento. A segunda etapa metodológica foi levar as demandas de consumo não potáveis da edificação para os pontos consumidores de rega de jardim, torres de resfriamento e higienização hospitalar através da lavagem e mopeamento dos pisos. Os resultados mostram que os equipamentos da edificação possuem o potencial de gerar uma quantidade significativa de água, sendo estimado um valor superior a 640 m³ caso viesse a coletar a água de todos os equipamentos. Em alguns períodos, a água do condensado de todos os equipamentos conseguiria atender a 92,6% da demanda predial. Estes resultados mostram-se positivos em relação à quantidade da água produzida pelos equipamentos de ar condicionados, a fim de atender as demandas que não necessitam de água potável para suas atividades, assim apresentando uma nova fonte hídrica para as edificações,

PALAVRAS-CHAVE: Ar condicionado. Água condensada. Uso da água.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the feasibility of using condensate water from air conditioners for non-potable purposes in a hospital building located in the city of Recife-PE, Brazil. The applied methodology was divided into the following steps: investigation of the amount of water generated by the condensate, where it was used in three ways to observe the volume of water produced, the first through the collection with a graduated cylinder and application of equations, the second through hydrometers installed in the condensate drainage network and the third by installing a rain gauge with arduino in the equipment drain. The second methodological step was to take the non-potable consumption demands of the building to the points that consume garden watering, cooling towers and hospital hygiene by washing and mopping the floors. The results show that the equipment in the building has the potential to generate a significant amount of water, with an estimated value greater than 640 m³ if it were to collect water from all equipment. In some periods, the condensate water from all the equipment would be able to meet 92.6% of the building demand. These results are positive in relation to the amount of water produced by air conditioning equipment, in order to meet the demands that do not require potable water for their activities, thus presenting a new water source for buildings.

KEYWORDS: Air conditioning. Condensate water. Water use.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo evaluar la viabilidad del uso de agua de condensación de acondicionadores de aire para fines no potables en un edificio hospitalario ubicado en la ciudad de Recife-PE, Brasil. La metodología aplicada se dividió en los siguientes pasos: investigación de la cantidad de agua generada por el condensado, donde se utilizó de tres formas para observar el volumen de agua producida, la primera a través de la recolección con probeta graduada y aplicación de ecuaciones, el segundo a través de hidrômetros instalados en la red de drenaje de condensados y el tercero instalando un pluviómetro con arduino en el drenaje de los equipos. El segundo paso metodológico fue llevar las demandas de consumo no potable del edificio a los puntos que consumen riego de jardines, torres de enfriamiento e higiene hospitalaria mediante lavado y trapeado de pisos. Los resultados muestran que los equipos del edificio tienen el potencial de generar una cantidad importante de agua, con un valor estimado superior a 640 m³ si se recolectara el agua de todos los equipos. En algunos periodos, el agua de condensación de todos los equipos sería capaz de cubrir el 92,6% de la demanda del edificio. Estos resultados son positivos en relación a la cantidad de agua que producen los equipos de aire acondicionado, con el fin de atender las demandas que no requieren de agua potable para sus actividades, presentando así una nueva fuente de agua para las edificaciones.

PALABRAS-CLAVE: Aire acondicionado. Agua condensada. uso del agua.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população, as mudanças no padrão de consumo, o desenvolvimento econômico e outros fatores, vem promovendo o aumento da demanda mundial por água a uma taxa de aproximadamente 1% por ano, e possui projeções de continuar aumentando durante as próximas décadas (ONU, 2018).

A busca de fontes alternativas de abastecimento é uma forma de minimizar os impactos causados pela escassez de água, proporcionando uma maior autonomia na obtenção do recurso hídrico. Existem muitas oportunidades de fontes alternativas de água que podem ser aproveitadas, como o uso de águas pluviais, reúso de água cinza, o aproveitamento de água do condensado dos sistemas climatizados, entre outros (HASSAN e BAKRY, 2013).

Os aparelhos de ar condicionado produzem um volume significativo de água de condensação a partir das serpentinas, em climas quentes e abafado. Ao invés de despejar essa água no sistema de esgoto, ela pode ser recolhida e utilizada em diferentes aplicações não potáveis (KHAM, 2013).

A perspectiva de utilizar a água proveniente dos aparelhos de ar condicionado é uma alternativa aparentemente viável, buscando o aproveitamento de água gerada para fins não potáveis, já que o gotejamento gerado pelo condensado das serpentinas geralmente é direcionado através de drenos para o sistema pluvial ou de esgoto.

Segundo Loveless, Farooq e Ghaffour (2018), o volume gerado de água do condensado depende em grande parte da unidade relativa de ar, que por sua vez é dependente de padrões climáticos. Isso faz com que previsões detalhadas da disponibilidade de água do condensado sejam um pouco difícil de determinar.

Atualmente, o Brasil mostra um cenário favorável à prática da reutilização de água, como parte de um conjunto de ações voltadas à gestão dos recursos hídricos que devem ser aplicadas, sendo de suma importância a definição de como caminhar com essas ações de forma a integrar as políticas públicas, legislações, regulamentações e a sociedade civil (KUBLER, FORTIN e MOLETTA, 2015).

Algumas cidades brasileiras como Rio de Janeiro, Juiz de fora e São Paulo possuem legislação sobre a formação de condensado pelo ar-condicionado, determinando que a água seja direcionada à drenagem para impedir o gotejamento em vias públicas, evitando o incômodo aos cidadãos. O Estado do Ceará (2018) aprovou a Lei de nº 16.603 determinando o aproveitamento desta água e o Estado de Pernambuco (2019), a Lei de nº 16.584/19 contendo a mesma disposição.

Estudos desenvolvidos em diversas regiões do mundo apresentam como satisfatórios os resultados das suas análises sobre a produção de água através dos aparelhos de ar condicionado, entre eles: Bolina *et al.* (2017); Costa *et al.* (2016); Fontes, Jardim e Fernandes (2015); Arend, Krebs e Amaral (2014); Medina Filho *et al.* (2016); Sousa *et al.* (2015); Cunha, Filho e Schröder (2016); Mota, Oliveira e Inada (2011); Loveless, Farooq e Ghaffour (2013); Soares *et al.* (2017); Silva *et al.* (2018); Ferraz *et al.* (2016) e Akran *et al.* (2018).

2 OBJETIVOS

Neste contexto, este trabalho visa identificar o potencial de aproveitamento da água do condensado produzida por condicionadores de ar e sua possível utilização em uma edificação, tendo como estudo de caso uma edificação de tipologia hospitalar no Recife, visto que parte do consumo predial não exige que seja utilizada água potável.

3 METODOLOGIA

3.1. A edificação

O hospital em estudo pertence a uma rede privada de saúde. A edificação onde está instalado teve sua inauguração no ano de 2011, e possui uma área construída de 22.000 m², distribuídos em 15 pavimentos, onde se encontram 204 Leitos; 10 Salas de Cirurgia, 258 vagas no Edifício Garagem, além de uma área verde de 516,55 m².

3.2. Equipamentos de ar condicionado

O sistema de climatização do prédio é composto por equipamentos de expansão indireta, alimentados pelo sistema de água gelada e por equipamentos de expansão direta a gás refrigerante. Uma tonelada de refrigeração (1 TR) corresponde a 12.000 BTU/h que é a Unidade Térmica Britânica por hora, que é a unidade mais utilizada comercialmente.

O Número de equipamentos de ar condicionado existente na edificação é de 339 com capacidades térmicas variadas. A soma da capacidade térmica dos equipamentos atendidos pelo sistema de água gelada é de 763,54 TR, e dos equipamentos que utilizam gás refrigerante é de 161,71 TR, em um valor de carga térmica total de 925,25 TR na edificação, o que corresponde em unidade térmica britânica a 11.103.000 BTUs.

3.3. Medição da água do condensado

A estimação do volume de água do condensado foi através de três formas distintas. A primeira através da utilização de uma proveta graduada onde foram aplicadas equações para estimar o volume total de água.

Adotou-se uma metodologia própria, onde foram realizadas três medições, cada uma com intervalo de três minutos, em um equipamento de cada capacidade térmica, em seguida foi calculada a média para obter o volume produzido por este equipamento. O volume foi multiplicado pelo tempo de funcionamento do equipamento para encontrar o volume diário de água produzida pelo condensado. O cálculo foi realizado a partir das equações 1 e 2

$$\text{QDIA} = \frac{\text{QCP} \times \text{TF}}{\text{TM}} \quad \text{Equação (1)}$$

QDIA= Quantidade de água produzida durante um dia;

QCP= Quantidade de água do condensado produzida durante um período;

TF= Tempo de funcionamento do equipamento;

TM= Tempo de medição.

$$\text{QMÊS} = \text{QDIA} \times \text{DM} \quad \text{Equação (2)}$$

QMÊS= Quantidade de água produzida durante o mês;

QDIA= Quantidade de água produzida durante um dia;

DM= Quantidade de dias de funcionamento no mês.

A segunda, por meio um pluviômetro com um *datalogger* Arduino, instalado na saída da drenagem dos equipamentos (fan coil) de 5 TR do 1° pavimento, 15 TR do 4° pavimento e 15 TR do 5° pavimento do piso técnico Sul.

Os períodos que o pluviômetro passou em cada equipamento foi de 19/02 a 26/04 de 2019 no fan coil de 5 TR, de 27/04 a 20/05 de 2019 no fan coil de 15 TR do 4° Pavimento e 16/09 a 12/10 de 2019 no fan coil de 15 TR no 5° pavimento do piso técnico

A terceira metodologia de medição foi através de hidrômetros instalados nas redes de drenagem geral dos pisos técnicos Norte e Sul por onde a água do condensado passa. Esta última verificou a quantidade de água do condensado que a edificação coletou para utilização não potável.

3.4. Estimativa da demanda não potável

Quatro demandas não potáveis da edificação foram estimadas para possíveis pontos consumidores da água do condensado. A água para lavagem de piso e passar pano com o MOP é uma delas. No prédio, esses serviços são executados por empresa terceirizada que possui uma programação de limpeza pré-estabelecida e aprovada pela gestão do hospital.

Para a lavagem de piso, a taxa de consumo de água para calcular a demanda de água dos ambientes foi conforme a taxa apresentada por (TOMAZ, 2010) de 2 L/m². Com base nesta taxa, adotou-se a equação 3, para estimar o volume de água consumido para este tipo de utilização.

$$\mathbf{DMÊS (lavagem) = \underline{ÁREA \times TC \times DM}} \quad \text{Equação (3)}$$

DMÊS= Demanda de água para lavagem de piso durante o mês;

ÁREA= Área do ambiente;

TC= Taxa de consumo;

DM= Quantidade de vezes que o ambiente é lavado no mês.

A limpeza com MOP são realizadas de duas formas, com carrinho ou balde. O carrinho possui um balde com a capacidade máxima de 20 litros que é utilizado nas UTI's e a segunda com um balde de capacidade máxima de 28 litros que é utilizado para a limpeza nas demais áreas.

Utilizar a capacidade máxima do balde não é recomendado para que o mesmo não transborde durante a operação, sendo praticado um volume que corresponde cerca de 65% do seu volume máximo. Sendo adotados para base de cálculo neste trabalho os valores de 13 e 18 litros, respectivamente.

A equação 4 foi utilizada para estimar o volume de água utilizada para o processo de passagem de pano nos ambientes da edificação. Vale salientar que de acordo com a ANVISA (2010), a água do enxágue não é mais considerada limpa após o primeiro enxágue do MOP.

$$\mathbf{DMÊS (mopeamento) = \underline{VB \times QB \times DM}} \quad \text{Equação (4)}$$

DMÊS = Demanda de água para limpeza de piso com MOP durante o mês;

VB = Volume de água no balde;

QB = Quantidade de baldes por ambiente

DM = Quantidade de vezes que o ambiente é limpo no mês.

Para a rega de jardim a taxa comum é de 2 L/m² x dia (TOMAZ, 2010). As áreas de jardim foram obtidas através dos dados do projeto de arquitetura do prédio. A frequência de rega é de 2 vezes

ao dia. O jardim é composto por plantas gramíneas e arbustos de pequeno. A equação utilizada foi semelhante à para lavagem de piso.

$$\text{DMÊS (jardim)} = \underline{\text{ÁREA} \times \text{TC} \times \text{DM}} \quad \text{Equação (5)}$$

DMÊS= Demanda de água para rega de jardim durante o mês;

ÁREA= Área de jardim;

TC= Taxa de consumo;

DM= Quantidade de dias que o jardim é regado no mês.

Na torre de resfriamento, segundo Alpina (2019) as perdas de água são pequenas e não superam, via de regra, 2% da vazão da água em circulação, supondo diferenciais térmicos e condições climáticas normais. As perdas se somam da evaporação, do arrastamento de gotas finíssimas pelos ventiladores e, ainda, da purga de desconcentração. Arraste e purga de desconcentração devem ser considerados juntos, pois ambos não contribuem para o aumento da dureza da água em circulação

No estudo, o volume das perdas de água da torre de resfriamento foi medido através do hidrômetro instalado para aferir o volume de água purgada pelas torres. O volume de água perdida por arraste e evaporação não foram considerados. As leituras foram realizadas semanalmente para registrar a variação do volume de água purgada, volume este, que é repostado pela caixa de compensação do sistema.

4 RESULTADOS

4.1. Previsão através da proveta graduada

A estimativa potencial da geração de água do condensado com o auxílio da proveta graduada foi subdividida em quatro grupos, que são: aparelhos do piso técnico norte (PT Norte), piso técnico sul (PT Sul), os demais aparelhos hidrônicos (abastecidos por água gelada) e aparelhos que utilizam o gás refrigerante como fluido de refrigeração.

O tempo de operação dos aparelhos de climatização localizados no PT (fan coils) e dos equipamentos hidrônicos no interior da edificação é de 24 horas (1440 minutos), para os equipamentos a gás refrigerante, foi estimado um tempo médio de operação de 16 horas de trabalho (960 minutos), pois estão localizados em ambientes com horário fixo de funcionamento como os setores administrativos do hospital.

As equações (1) e (2) foram utilizadas para estimar a produção de água do condensado diária e mensal. A tabela 1 apresenta o volume de água do condensado total produzida pelo sistema. Os equipamentos cujas linhas estão em destaque passaram pela medição com a proveta, os demais volumes foram estabelecidos por regra de três para estimar o volume produzido em relação à capacidade térmica do equipamento, pois existiu dificuldade de acesso a esses equipamentos.

Tabela 1 - Produção geral de água condensada

	Equipamentos	Quant.	Capacidade (TR)	Volume médio medido (L em 3 minutos)	Tempo de funcionamento (minutos)	Volume total diário (L)	Volume total diário (m ³)	Volume total mensal (m ³)
PT norte	Fan coil	1	40	6,9	1440	3312,00	3,31	86,11
	Fan coil	2	25	6,48	1440	6220,80	6,22	161,74
	Fan coil	1	20	3,45	1440	1656,00	1,66	43,06
	Fan coil	1	15	0,42	1440	201,60	0,20	5,24
	Fan coil	2	12	2,27	1440	2185,54	2,19	56,82
PT sul	Fan coil	1	25	6,48	1440	3110,40	3,11	80,87
	Fan coil	2	15	0,42	1440	403,20	0,40	10,48
	Fan coil	3	8	0,1733	1440	249,55	0,25	6,49
	Fan coil	10	5	0,1683	1440	807,84	0,81	21,00
Equipamentos hidrônicos (ambientes internos)	Fan coil	1	15	0,42	1440	201,60	0,20	5,24
	Hi wall	2	0,625	0,021	960	13,464	0,01	0,35
	Hi wall	3	0,75	0,0583	960	55,968	0,06	1,46
	Cassete	8	1,17	0,039	960	100,818	0,10	2,62
	Cassete	103	1,5	0,0433	960	1427,17	1,43	37,11
	Cassete	10	1,67	0,056	960	179,88	0,18	4,68
	Hi wall	1	1,83	0,062	960	19,71	0,02	0,51
	Hi wall	29	2	0,067	960	624,73	0,62	16,24
	Hi wall	3	2,5	0,1133	960	108,77	0,11	2,83
	Hi wall	4	3	0,101	960	129,25	0,13	3,36
	Hi wall	2	3	0,101	960	64,63	0,06	1,68
	Hi wall	41	3,13	0,105	960	1382,27	1,38	35,94
	Hi wall	1	3,5	0,118	960	37,70	0,04	0,98
	Hi wall	4	4	0,135	960	172,34	0,17	4,48
	Hi wall	4	4,58	0,154	960	197,33	0,20	5,13
Equipamentos a gás refrigerante (ambientes internos)	Split (VRF)	11	0,65	0,0219	960	77,01	0,08	2,00
	Split (VRF)	6	0,75	0,0583	960	111,94	0,11	2,91
	Split (VRF)	2	0,83	0,0279	960	17,880	0,02	0,46
	Split (VRF)	19	1	0,0337	960	204,65	0,20	5,32
	Split (VRF)	9	1,05	0,0353	960	101,79	0,10	2,65
	Split (VRF)	14	1,5	0,0433	960	193,98	0,19	5,04
	Split (VRF)	6	1,65	0,0555	960	106,63	0,11	2,77
	Split (VRF)	2	1,83	0,0617	960	39,49	0,04	1,03
	Split (VRF)	7	2	0,0673	960	150,80	0,15	3,92
	Split (VRF)	6	2,08	0,0700	960	134,42	0,13	3,50
	Split (VRF)	2	2,5	0,1133	960	72,51	0,07	1,89
	Split (VRF)	9	3	0,101	960	290,82	0,29	7,56
	Split (VRF)	3	3,3	0,111	960	106,63	0,11	2,77
	Split (VRF)	3	4	0,1346	960	129,25	0,13	3,36
	Split (VRF)	1	5	0,1683	960	53,86	0,05	1,40
Total geral de volume de água condensada						24654,24	24,65	641,01

Fonte: Autores, 2021

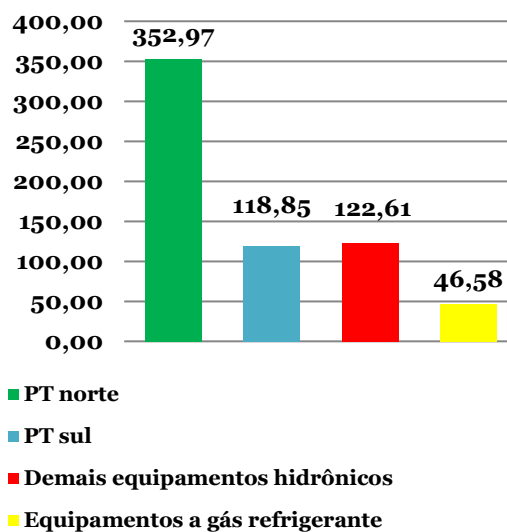
É possível observar que existe uma variação da produção de água entre os fancoils de 12 e 15 TR que pode ser considerado inusitado, pois o equipamento de menor capacidade térmica produziu um volume de aproximadamente 5,4 vezes superior ao de maior capacidade. Os motivos para essa variação não foram estudados, sendo considerado como um caso particular deste sistema.

NO PT sul o resultado mais expressivo foi observado entre a produção de água nos fan coils de 15 e 25 TR, onde se fosse calculado dedutivamente por regra de três simples o volume produzido pelo equipamento de 25 TR com base no volume medido no de 15 TR, seria um valor de 0,7 litros em 3 minutos de medição, porém o volume de água foi 9,25 vezes superior.

Os sistemas de expansão indireta possuem a possibilidade de utilizar-se de vários arranjos de localização de equipamentos (fan coils), redes de dutos de distribuição de ar (ar exterior, insuflamento e ar de retorno) conforme pré-estabelecido pelo projetista. Essa diferença entre arranjos pode influenciar na produção de água condensada, já que existi a possibilidade de se misturar o ar com diferentes temperaturas e umidades (exterior com insuflamento, exterior com retorno e entre outros).

Os volumes correspondentes a subdivisão proposta para o sistema é apresentado no gráfico 1 de acordo com e metodologia da proveta graduada. O primeiro período utilizado como base de cálculo para estimativa da produção mensal foi entre 06/05/2019 à 03/06/2019, referente há 26 dias.

Gráfico 1 - Water consumption indicators as m³/m²/year.



Fonte: Autores, 2021

Ao ser observada a relação entre a produção de água do condensado e a capacidade térmica dos equipamentos na subdivisão apresentada, o PT norte possui um total de 149 TR, PT sul possui 129 TR, os demais equipamentos hidrônicos possuem 450,54 TR e os equipamentos a gás refrigerante possuem 161,70 TR.

A capacidade térmica dos equipamentos no PT norte é aproximadamente 15,5% maior que a do PT sul, porém a produção de água condensada estimada pela equação foi superior a 296,98%. Os equipamentos hidrônicos possuem capacidade maior 2,4% do que a soma de toda capacidade térmica restante dos equipamentos da edificação, no entanto é 287,88% inferior estimativa de produção de água do PT norte.

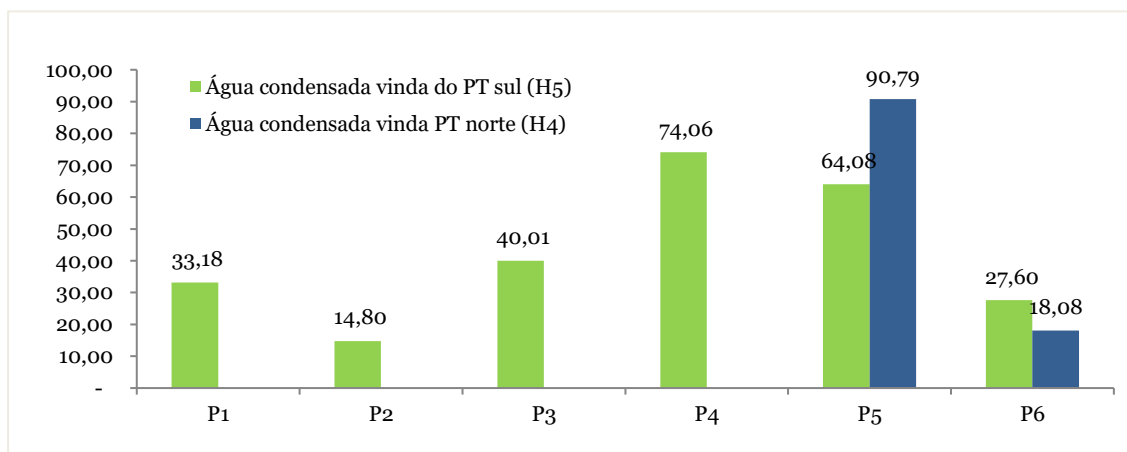
4.2. Previsão através do hidrômetro

A edificação possui um sistema de tratamento de água que realiza captação de diversas fontes visando à reutilização desse recurso. O sistema possui um total de 6 hidrômetros (H) instalados, estando assim distribuídos: H1 – água da concessionária local, H2 – água tratada que vem do sistema da edificação, H3 – água da purga das torres, H4 – água do condensado do PT Norte, H5 – água do condensado do PT Sul e H6 – Descarte do sistema de tratamento.

A coleta dos dados ocorreu nos hidrômetros H4 e H5, que estão instalados na drenagem geral dos equipamentos do PT norte e PT sul respectivamente. Ao total foi analisada a produção de água do condensado de maio a outubro de 2019 (seis meses), subdividido em 6 períodos (P), onde: P1 - (06/05 a 03/06); P2 - (03/06 a 03/07); P3 - (03/07 a 30/07); P4 - (30/07 a 30/08); P5 - (30/08 a 30/09) e P6 - (30/09 a 31/10).

O H4 foi instalado em 20/08/19 após a liberação da administração responsável pela manutenção do prédio. O volume de água gerada pelos aparelhos presentes no PT sul e norte estão presentes no gráfico 2.

Gráfico 2 - Volume de água condensada (m³) registrada no período (P)



Fonte: Autores, 2021

Existe uma variação significativa entre os volumes registrados pelo hidrômetro entre períodos, aonde em P2 e P4 para o PT sul, chega a uma diferença de volume de água coletada de 59,26 m³, e a menor diferença foi registrada no período P4 e P5 com 9,98 m³. No período P5 que abrange predominantemente o mês de setembro, a edificação utilizou um volume de 154,87 m³ de água condensada para fins não potáveis, e no P6 referente a outubro um volume de 45,68 m³.

Como o sistema de tratamento de água funciona de forma autônoma, não foi possível entender de forma clara o motivo pelo qual os volumes captados pelo sistema apresentam as variações de volume observadas. Pelo fato do sistema de tratamento ser abastecido por outras fontes, acredita-se que ele só venha acionar o bombeamento dos reservatórios de água do condensado, quando seja necessário.

Os volumes registrados pelos hidrômetros podem ser considerados parciais, pois só abrange a água recolhida no PT norte e PT sul. Além disso, quando o sistema de automação do tratamento

demandar, caso contrário, ocorrerá o descarte da água do condensado. Os demais equipamentos hidrônicos e com processo a gás refrigerante espalhados pela edificação não possuem sua drenagem interligada ao sistema, sendo a água do condensado também direcionada ao descarte.

4.3. Pluviômetro com arduino

Antes de analisar o comportamento da produção de água do condensado nos equipamentos de 5 e 15 TR localizados no PT sul, foi realizado um teste de verificação para observar a relação entre o volume de água gerada em um período de tempo em relação ao volume registrado pelo arduino conectado ao pluviômetro, levando em consideração a temperatura e umidade relativa do ar no momento de cada verificação. O teste foi realizado em um equipamento de ar condicionado de 12.000 BTU instalado em uma sala administrativa com área de 19,50 m², com 2 postos de trabalho fixos. Não foi considerado as aberturas de portas para o trânsito de pessoas. Os dados coletados foram de 2 dias e estão dispostos na tabela 9.

Buscou-se encontrar a relação entre o volume produzido medido através da proveta graduada (ml) e o volume registrado pelo arduino interligado ao pluviômetro (mm), encontrando assim a área de contribuição equivalente que será posteriormente utilizada para encontrar os volumes em ml para os demais valores em registrado pelo arduino (mm).

$$V(\text{ml}) = \frac{L_{\text{pluv}}}{\text{Área } \emptyset} \quad \text{Equação (6)}$$

V (ml)= Volume de água produzida durante um período medido com a proveta;

Lpluv= Leitura do volume no pluviômetro durante um período em milímetros (mm);

Área Ø= Área de contribuição do pluviômetro em metros quadrados (m²)

Após aplicação da equação 6, e encontradas as áreas de contribuição para cada período em relação aos volumes registrados, foi retirado a média entre as áreas, a qual será utilizada para calcular os volumes de água do condensado produzido pelos equipamentos de 5 e 15 TR.

Tabela 2 - Alternatives for reducing water consumption in hospitals

	Intervalo (hora)	Volume registrado pela proveta (ml)	Registro do pluviômetro (mm)	Área de contribuição (m ²)
1° dia	10:00 - 11:00	1180	Falha	-
	11:00 - 12:00	1400	77,75	0,0555
09/09/2019	12:00 - 13:00	1150	59,50	0,0517
	13:00 - 14:00	1195	61,5	0,0515
2° dia	10:00 - 11:10	1500	94,5	0,0630
	11:10 - 12:00	1625	63,00	-
10/09/2019	12:00 - 13:10	1640	84,00	0,0512
	13:10 - 14:00	1250	62,00	0,0496
Média				0,0538

Fonte: Autores, 2021

Para analisar o comportamento da produção de água do condensado nos equipamentos de ar condicionados onde foi instalado o pluviômetro com arduino, os dados apresentados seguiram os critérios de serem utilizados apenas os dados que continham o registro diário completo do volume, sendo descartados os dias que apresentaram alguma falha na leitura ou armazenamento das informações.

A primeira instalação ocorreu no fan coil de 5 TR, entre o período de 19/02 a 26/04 de 2019, correspondendo a 67 dias de medição. Destes, apenas 14 dias apresentaram os dados diários completos. A segunda instalação no equipamento de 15 TR no 4º pavimento do PT sul foi entre o período de 27/04 a 20/05 de 2019, que dão 24 dias de medição. O arduíno a partir desse período parou de realizar a leitura e foi retirado para manutenção.

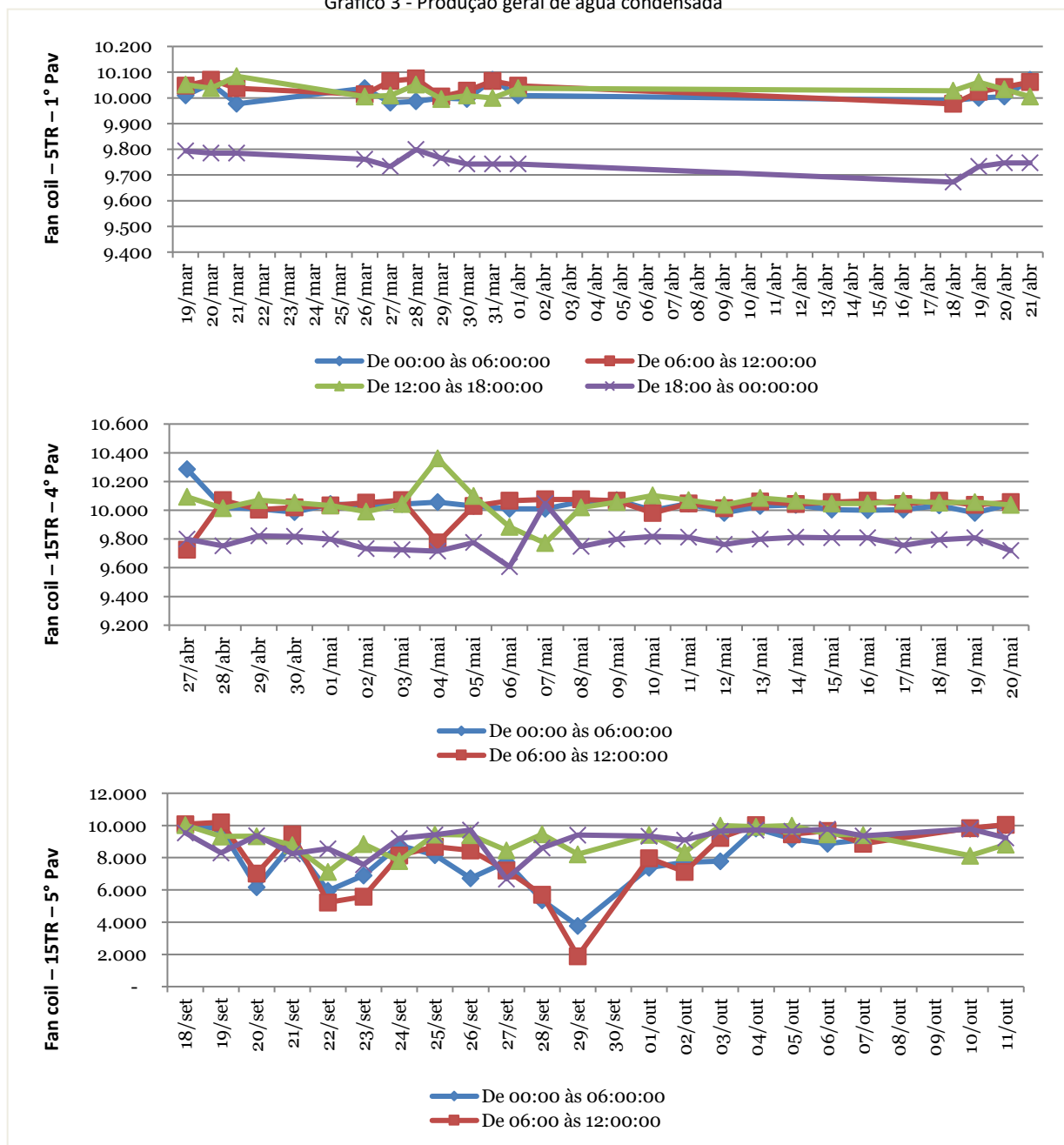
As falhas foram observadas no momento em que os dados iam sendo coletados. A coleta acontecia entre o período de uma a duas semanas. Em alguns dias não foram registrados dados alguns, e em outros, existiram lacunas entre os registros, que chegou a ser de horas. Os dias que apresentaram falhas foram excluídos para fins de cálculo.

Os possíveis fatores que contribuíram para a ocorrência de falhas foram às quedas e/ou oscilação de energia, onde o *datalogger* se desligava por um período incerto e não voltava à operação normalmente após o evento, outra possível falha está atrelada ao funcionamento do sensor de movimento instalado no pluviômetro que não estaria em pleno funcionamento. Para esse último fator apresentado, tomou-se a ação de substituir o sensor.

Com a manutenção do pluviômetro realizada, a terceira instalação ocorreu no fan coil de 15 TR localizado no 5º pavimento do PT sul no período de 16/09 a 12/10 de 2019, o que corresponde a 27 dias, dos quais apenas 21 dias estavam completos. É possível observar que o comportamento da produção de água condensada no Equipamento de 5 TR no PT sul não possui uma grande variação na produção em relação aos demais, sendo de 356 mL.

No Fan coil de 15 TR do 4º pavimento no PT sul também foi observado a variação máxima da produção de água do condensado chegou a 646 mL. No terceiro equipamento de 15 TR localizado no 5º pavimento do PT sul, a variação máxima já se mostra mais acentuada, chegando a 7.519 mL em um dos dias. Essa variação vem mostrar a instabilidade da produção de água da condensação, mesmo para equipamentos que apresentam os mesmos parâmetros operacionais técnicos como o caso dos fan coils de 15 TR. O gráfico 3 apresenta os horários e os dias da coleta da água condensada.

Gráfico 3 - Produção geral de água condensada



Fonte: Autores, 2021

4.4. Perfil das demandas não potáveis da edificação

Para a lavagem de piso, a periodicidade da realização deste tipo de ação foi levantada através dos dados fornecidos pela empresa contratada pela higienização hospitalar. Mesmo existindo uma programação para realização das atividades (manutenção preventivas), a depender do nível de higiene que cada ambiente requer, a lavagem poderá ocorrer em uma periodicidade maior que o programado, como em dias chuvosos, onde o fluxo de limpeza é maior pelo fato das pessoas transitarem molhadas podendo transportar algum tipo de contaminação das ruas. O volume de demanda mensal para esse ponto de consumo foi de 147,45 m.

No caso da limpeza de piso com MOP, os ambientes como os banheiros, vestiários, cozinha, refeitório, salas de cirurgias e garagem, não estão inclusos na programação, pois para essas áreas apenas são programadas as lavagens

Vale salientar que os valores encontrados levaram em consideração as periodicidades e número de limpezas de ambientes por balde (18 litros) conforme informado pela empresa de manutenção responsável pela higienização do hospital. O volume para demanda mensal referente ao mopeamento é de aproximadamente 181,74 m³.

A edificação possui um jardim em sua entrada principal que possui uma variedade pequena de arbustos e na sua predominância são plantas gramíneas. A rega é realizada duas vezes ao dia. O volume para demanda mensal para rega de jardim foi de 61,98 m³.

A demanda de água da torre de resfriamento do sistema de climatização é determinada pelo volume de água que é purgada. Através de um hidrômetro instalado no ramal de purga das torres, foi possível acompanhar o volume de água descartada. O volume descartado de acordo com cada período foi: P1 = 189,82 m³; P2 = 319,37 m³; P3 = 278,67 m³; P4 = 165,13 m³; P5 = 80,62 m³ e P6 = 300,73 m³.

A maior variação apresentada entre os períodos foi de 238,75 m³ entre o período P2 e P5. A quantidade de água purgada diariamente é determinada através da análise da água da mesma, e visa reduzir a concentração de contaminantes na água que circula pelo sistema. Na edificação ela é controlada manualmente, onde se a concentração de contaminantes estiver alta o operador poderá aumentar a abertura da válvula de purga ou fechar em uma concentração menor.

4.5. Potencial de aproveitamento do condensado

Quando um equipamento é individualmente estudado, o volume encontrado pode ser considerado insuficiente para que realmente seja utilizado em atividades prediais, mas quando é observado o potencial de todos os equipamentos de uma edificação, os volumes de água passam a ser bem satisfatórios.

No gráfico 5 é possível observar que o volume que a edificação captou de água do condensado dos equipamentos no período P5 atenderia em 100% a demanda de lavagem de piso, ou da rega de jardim e reposição da torre de resfriamento juntas. E parcialmente o mopeamento em mais de 86% da demanda para esse uso.

No período seguinte, a quantidade de água captada pelo sistema foi menos expressiva. Por sua vez, a demanda para reposição da torre de resfriamento com base no seu regime de purga, cresceu mais de 375%. É possível observar que a quantidade de água captada atenderia a 73,69% da demanda do jardim.

5. CONCLUSÃO

Este estudo analisou o potencial de produção de água do condensado de aparelhos de ar condicionado para a utilização não potável dentro de uma edificação de tipologia hospitalar na cidade do Recife, cuja metodologia poderá ser replicada para outras tipologias prediais, em diversas localidades do Brasil e do mundo.

As equações utilizadas no primeiro método mostraram que em 26 dias o volume estimado como produção de água gerada pelo condensado de todos os equipamentos, seria de 641,01 m³.

No segundo método (pluviômetro com arduíno), foi realizada a coleta da água em parte dos equipamentos, que ficam localizados em pisos técnicos na parte externa da edificação (PT sul e norte). O maior volume captado foi de entre os 6 períodos observados foi de 154,87 m³.

Alguns períodos observados possuíam uma captação baixa de água do condensado por meio da edificação. Isso se deu pelo fato do sistema utilizado para o tratamento de água possuir mais de uma fonte de abastecimento para o reúso (chuva, autoclave, purga das torres de refrigeração e condensação dos aparelhos de ar condicionados), além de possuir automação, fazendo que, quando o volume de água fosse acima da demanda, o sistema não acionada o bombeamento da água do condensado, ou até mesmo desligasse, realizando o descarte para a rede coletora.

Através do terceiro método, foi observado o comportamento da produção de água do condensado em três equipamentos, que se mostraram diferentes. Até mesmo os equipamentos que possuem parâmetros operacionais iguais apresentaram uma variação na produção do condensado em relação horário do registro que chegou a aproximadamente 650 ml (de 12:00 às 18:00 e de 18:00 às 00:00) e em outro 7500 ml (de 06:00 às 12:00 e de 18:00 às 00:00). Isso ressalta a importância de futuras investigações com base em outros parâmetros não abordados que venham a analisar as possíveis causas da variação de água condensada nos equipamentos.

Entre os volumes levantados para demanda não potável para edificação, três possuem pouca variação em suas estimativas de volumes mensal (Rega de jardim, Lavagem de piso e Mopeamento), vale ressaltar que essas foram determinadas pelas equações propostas. A purga das torres de resfriamento, outra demanda levantada, mostrou variações expressivas de até 238,75 m³ de água entre os períodos observados, salientando que esse volume é real, medido através de um hidrômetro instalado no sistema de purga.

Se a edificação realizasse a coleta total da água condensada com base na primeira equação, ela supriria cerca de 92,6% da demanda total desses quatro pontos de utilização não potáveis, levando em consideração o cenário de maior demanda não potável entre os períodos estudados que foi de 691,92 m³. Destaca-se que a edificação já chegou a utilizar um volume de 154,87 m³ de água do condensado em demandas não potáveis, volume este bastante significativo quando atrelado a poupança pelo não uso de água potável fornecida pela concessionária local deste recurso.

REFERÊNCIAS

AKRAM, M. W.; MURSALIN, R.; HASSAN, M.; ISLAM, R. Recycling of Condensed Water from an Air Conditioning Unit.

Researchgate, p. 1-5, 2018. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/323280047_Recycling_of_Condensed_Water_from_an_Air_Conditioning_Unit. DOI: 10.1109 / IC4ME2.2018.8465612. Acesso em: 15 ago. 2021.

ALPINA. **Torres de resfriamento**, 4 abr. 2019. Site: Alpina Equipamentos. Disponível em:

<https://www.alpinaequipamentos.com.br/publicacao/perdas-de-agua-em-torres-de-resfriamento/2>. Acesso em: 02 ago. 2021

AREND, M. C., KREBS, J.; AMARAL, R. S. Coleta e reúso de água do dreno do aparelho de ar condicionado para um sistema automatizado de irrigação. In: 4º Feira de Iniciação Científica e Extensão, 2014. **Anais[...]**. Camboriú: IFC.

Disponível em: <http://www.camboriu.ifc.edu.br/vfce2014/anais/uploads/trab56.pdf>. Acesso: 10 ago. 2021.

CEARÁ. Lei nº 16.603 de 11 de julho de 2018. Dispõe sobre o reúso da água proveniente de aparelhos de ar condicionado no Estado do Ceará. **Assembleia Legislativa do Estado do Ceará**. Governo do Estado do Ceará. Disponível em: <https://belt.al.ce.gov.br/index.php/legislacao-do-ceara/organizacao-tematica/desenv-regional-recursos-hidricos->

minas-e-pesca/item/6358-lei-n-16-603-de-09-07-18-d-o-11-07-

18#:~:text=Art.,%C3%A2mbito%20do%20Estado%20do%20Cear%C3%A1. Acesso em: 15 ago. 2021

GONÇALVES, F.; Kalbusch, A.; HENNING, E. Correlation between water consumption and the operating conditions of plumbing fixtures in public buildings. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 18, n. 6, p. 1915-1925, 2018. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.013>

HASSAN, N. M.; BAKRYA, A. S. Feasibility of Condensate Recovery in Humid Climates. **Internacional Journal of Architecture, Engineering and Construction**, v. 2, n. 4, p. 271 – 279, 2013. DOI:10.7492/IJAEC.2013.024

KHAN, S. A.; ZUBAIDY, S.N.M.J. Conservation of Potable Water Using Chilled Water Conditioning Machines in Hot e Humid Clime. **Internatinal Journal of Engineering and innovative Technology**, v.3, n. 2, p. 182 – 188, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284278747>. Acesso em: 15 ago 2021

KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. Reúso de Água nas Crises Hídricas e Oportunidades no Brasil. **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2013. Disponível em: http://abes-dn.org.br/pdf/Reuso_nas_Crises.pdf. Acesso em: 16 ago 2021.

LOVELESS, K., Farooq, A., Ghaffour, N. Condensate Water: Global Potential and Water Quality Impacts.

Water Resources Management, v. 27, n. 5, p. 1351-1361, 2013. DOI:10.1007/s11269-012-0241-8

MADEIRA, V. S. **Desenvolvimento de um carvão adsorvente para remoção de íons ferro em águas naturais**. 2003, 161. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261594por.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021

PERNAMBUCO. Lei 16.584 de 10 de junho de 2019. Dispõe sobre Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco e dá outras providências. **Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco**. Governo do Estado de Pernambuco. Disponível em: <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=16584&complemento=0&ano=2019&tipo=&url=>. Acesso em: 17 ago. 2021.