



Artigo

# Proposta de implantação de sistema de termoacumulação de água gelada em um shopping center

Matheus Vitor da Silva Gomes <sup>[1]</sup> e José de Castro Silva <sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco; matheus.vitor@discente.univasf.edu.br

<sup>[2]</sup> Universidade Federal do Vale do São Francisco; castro.silva@univasf.edu.br

Recebido: 13/12/2022;

Aceito: 07/06/2023;

Publicado: 21/06/2023.

**Resumo:** O uso da energia elétrica na climatização está cada vez maior e em um cenário de alto custo e consumo de energia elétrica, *shopping centers* chegam a ter mais de 50% do custo de sua conta de energia só para o sistema de climatização. Entretanto, a implementação da termoacumulação permite a transferência de horário de produção do horário de ponta, com tarifas mais altas, para um horário fora de ponta e, conseqüentemente, resulta em uma economia significativa na conta de energia. Nesse contexto, esse trabalho propôs a implantação de sistema de termoacumulação usando água gelada para um *shopping center* localizado na região nordeste do país. Para tanto, foi realizado um levantamento dos equipamentos do *shopping* e, com base na carga térmica de resfriamento, foi dimensionado o tanque. Analisou-se também o sistema com e sem termoacumulação e foi possível observar uma economia de 19,34% no custo relacionado ao consumo de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Termoacumulação; Climatização; Energia Elétrica; Água Gelada.

**Abstract:** The use of electrical energy for climatization is increasing and within a scenario of the high cost of electrical energy consumption, shopping centers have more than 50% of the cost of their energy bill just for climatization. However, the implementation of thermoaccumulation allows for lowering production hours from peak hours, with higher tariffs, to off-peak hours and, consequently, results in significant savings in the energy bill. In this context, this work proposed the implementation of a thermoaccumulation system using cold water for a shopping center located in the northeast region of the country. To this end, a survey of the mall's equipment was carried out, and, based on the thermal load of cooling, the tank was dimensioned and the system with and without thermoaccumulation was analyzed. There was a saving of 19.34% in the cost related to the consumption of electrical energy.

**Key-words:** Thermoaccumulation; Climatization; Electrical Energy; Cold Water.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de energia elétrica tendo como uso final o resfriamento está cada vez maior, com um bom crescimento e com previsão de triplicar até 2050 a demanda de energia elétrica empregada no resfriamento [1]. Esse cenário aumenta a demanda por energia elétrica, que, por conseguinte, aumenta o custo sobre o sistema energético.

A partir da década de 70, muitos insumos voltados para a produção e expansão de energia elétrica ganharam um aumento expressivo de preço [3]. Nessa situação, as empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica tiveram que alterar sua estrutura de preços, ou seja, elevando o custo do consumo de energia elétrica. E conforme os dados da Associação dos Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres (Abrace), o Brasil possui a segunda “conta de luz” mais cara do mundo, ficando atrás apenas da Colômbia.

Todavia, segundo [1], há algumas medidas a serem empregadas para amenizar esse custo energético, dentre elas, a aplicação de meios de armazenamento de energia térmica. Uma das alternativas é a termoacumulação (buscando redistribuir as cargas de energia elétrica do horário de pico para períodos de menor demanda, conforme apontado por [2]), que é o armazenamento da energia térmica por meio de água gelada ou gelo.

A termoacumulação pode diminuir de maneira significativa o custo com a energia elétrica, mas também pode diminuir o custo com o próprio sistema de condicionamento de ar [3]. Por exemplo, um determinado auditório que necessita de uma instalação de 40 Toneladas de Refrigeração (TR), por 4 horas, uma vez na semana. O sistema nesse auditório irá produzir entorno de 160 TR horas de frio, entretanto, um sistema com 4 TR, acumulando frio por 40 horas irá produzir a mesma capacidade de 160 TR e, evidentemente, o custo será menor em relação ao sistema de

condicionamento de ar. Era nesse cenário que geralmente se utilizava da termoacumulação, mas, devido ao aumento do custo do consumo de energia elétrica, a termoacumulação ganhou espaço em outros contextos [3].

Posto isso, esse trabalho tem como objetivo propor a implantação de um sistema de termoacumulação de água gelada, aplicado em um shopping center localizado na região nordeste do país. Para isso, portanto, será realizado um levantamento dos equipamentos para saber a potência, a capacidade e o consumo do sistema atual do shopping. Com essas informações e com a carga térmica do local, será realizado o dimensionamento do tanque e será proposto um novo sistema de climatização com termoacumulação. Por fim, verificar-se-á a redução do custo na conta de energia elétrica do shopping.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado tendo como modelo um shopping center e os procedimentos para realização do trabalho foram organizados em etapas, apresentadas a seguir:

- Descrição da localidade do shopping;
- Conhecimento do sistema de climatização atual do shopping;
- Consumo de energia elétrica e tarifas;
- Dimensionamento do tanque e sua estrutura;
- Proposta de um novo sistema de climatização com termoacumulação.

### 2.1. Descrição da localidade do shopping

O shopping usado como modelo está localizado em uma cidade da região nordeste do país, uma cidade que possui clima tropical semiárido seco e quente, onde a temperatura média no mês mais quente, novembro, é de 28,4 °C com umidade relativa de 47% como pode ser visto na Tabela 1.

É importante considerar os fatores climáticos da região, fatores esses que influenciam diretamente a climatização do ambiente estudado, isso porque com temperaturas elevadas, a carga térmica do local tende a se elevar, e, consequentemente, o consumo dos equipamentos também aumenta [4].

O shopping center possui uma área de 14.409,2 m<sup>2</sup> a ser climatizada. Nesse local há circulação de clientes e funcionários das lojas, com uma capacidade de 2.500 pessoas, deixando evidente a importância da climatização do ambiente buscando o conforto térmico.

TABELA 1. Dados climatológicos da cidade dos anos 1991 a 2021. (CLIMATE-DATA. ORG).

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	27,8	27,3	27,3	27	26,1	24,8	24	24,4	26,1	27,7	28,4	28,2
Temperatura mínima (°C)	23,1	22,9	23	22,7	21,9	20,7	19,7	19,4	20,3	21,8	22,9	23,3
Temperatura máxima (°C)	32,9	32,4	32,3	32	31	29,7	29,1	30,2	32,4	33,9	34,1	33,5
Chuva (mm)	90	77	93	44	17	9	8	4	3	11	33	54
Umidade (%)	55%	59%	60%	58%	59%	59%	57%	53%	47%	45%	47%	50%
Dias chuvosos (d)	7	8	8	6	3	1	1	0	0	1	3	5
Horas de sol (h)	9,3	8,6	8,4	7,6	6,1	5,4	5,4	6,8	8	8,7	9,5	9,8

### 2.2 Sistema de climatização atual do shopping

É utilizado um sistema de climatização por expansão indireta, onde a água é resfriada em um *chiller* e bombeada até os *fan-coils* para poder resfriar o ar ambiente que entra em contato com a superfície da serpentina do *fan-coil*. Esse sistema é composto basicamente por: *chillers*, bombas de água gelada, bombas de condensação (nesse caso específico os *chillers* possuem condensadores a água), torres de resfriamento e *fan-coils*.

Os *chillers* são resfriadores de líquidos que realizam a refrigeração do fluido secundário – a água, operando no ciclo de compressão de vapor que é composto por compressor, condensador, dispositivo de expansão e o evaporador [5]. Na Figura 1 é possível ver dois modelos de *chillers*.



FIGURA 1. Modelos de *chillers*: (a) *Chiller* com condensação a água; (b) *Chiller* com condensação a ar. (York (2019) e Carrier (2019)).

A água gelada que sai do *chiller* é conduzida pelas bombas de água gelada (BAG) que, depois de passar pela serpentina do *fan-coil*, é conduzido para o trocador de calor (evaporador do *chiller*), onde o fluido refrigerante (fluido primário) realiza o resfriamento da água (fluido secundário). Já no condensador do *chiller*, o fluido primário, com pressão e temperatura elevada por causa da compressão adiabática (sistema ideal) sofrida no compressor, rejeita “calor” para a água do condensador – nesse caso o condensador é a água. E a torre de resfriamento evaporativo resfria a água que vem do condensador por meio das bombas de água de condensação (BAC) [6]. Na Figura 2 pode-se ver um sistema de climatização por expansão indireta.

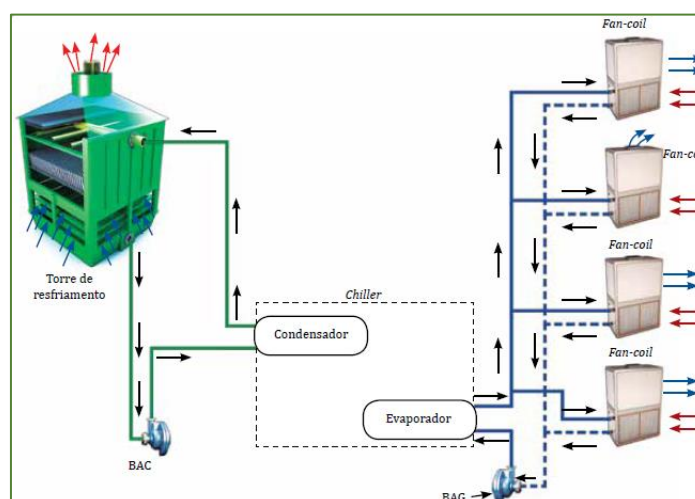


FIGURA 2. Sistema de climatização por expansão indireta. (Refrigeração e climatização/José de Castro Silva, 2016).

O sistema atual do shopping possui os equipamentos presentes na Tabela 2.

TABELA 2. Máquinas do sistema atual do shopping (autoria própria).

Equipamento	Quantidade	Capacidade Total (TR)	Potência Total (CV)
<i>Chiller</i>	3	900	1015,65
Eletrobombas	9	-	360
Torre de resfriamento	3	-	30
<i>Fan-coils</i>	125	1261,5	467,5

Os *chillers* são da marca Trane, dois do modelo RTHB e um do modelo RTHD e cada um com uma capacidade térmica de 300 TR. Os *chillers* ficam localizados na CAG – Central de Água Gelada, e cada um possui uma potência entorno de 338,55 CV (Cavalo Vapor) que totaliza 1015,65 CV como pode ser visto na Tabela 1 e possuem tensão de 380 V, trifásicos e frequência de 60 Hz. Os *chillers* de modelo RTHB possuem vazão de 82,2 m<sup>3</sup>/h e o *chiller* RTHD vazão de 92 m<sup>3</sup>/h, isso considerando que a temperatura de entrada é, em média, 13 °C e de saída 5°C.

As eletrobombas são divididas em grupos: três de condensação (BACs) e seis de água gelada (BAGs), sendo que as de água gelada se dividem entre primárias (três bombas responsáveis por bombear a água de retorno) e secundárias (três bombas responsáveis por bombear a água gelada para os *fan-coils*). Todas as bombas são da marca KSB, possuindo tensão de 380 V, trifásicas e 60Hz de frequência. As BACs possuem potência de 40 CV, as BAGs primárias possuem 30 CV e as secundárias de 50 CV. Sobre as vazões, as BAGs primárias possuem vazão de 73 m<sup>3</sup>/h e as secundárias de 123 m<sup>3</sup>/h.

As três torres de resfriamento evaporativo são idênticas, cada uma possui um moto-ventilador de 10 CV de potência.

Cada loja do *shopping* possui um *fan-coil*, o que geralmente é o suficiente, ou mais de um *fan-coil*. Como o *shopping* possui 105 de lojas, o número de *fan-coils* tende a ser maior que esse número levando em consideração lojas que necessitam de mais de um *fan-coil* e os *fan-coils* que são de responsabilidade do *shopping* diretamente (18 *fan-coils*). No APÊNDICE A é possível ver as lojas do *shopping*, a quantidade, capacidade e potência de cada *fan-coil*. As marcas como: *Air Quality*, Carrier, Trane e Trox são as mais utilizadas nos *fan-coils*; a capacidade vai variar de 2 TR até 40 TR e a potência de 1,5 CV até 20 CV.

Essas máquinas são suficientes para atender a carga térmica do local, pois, com base no relatório de avaliação da rede hidráulica do sistema de climatização do *shopping* realizado pela empresa Pordeus Serviços de Manutenção, a carga térmica máxima no dia é de 853 TR no horário das 13:00 horas às 14:00 horas. A Figura 3 mostra o gráfico de análise da carga térmica durante o funcionamento do *shopping center* e na Figura 4 o sistema de climatização do *shopping*.

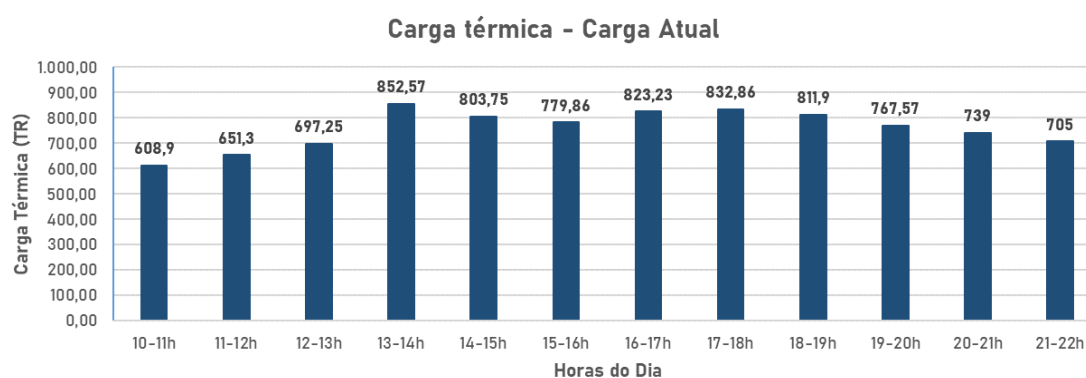


FIGURA 3. Carga térmica atual do *Shopping center*. (Adaptado de Pordeus Serviços de Manutenção).

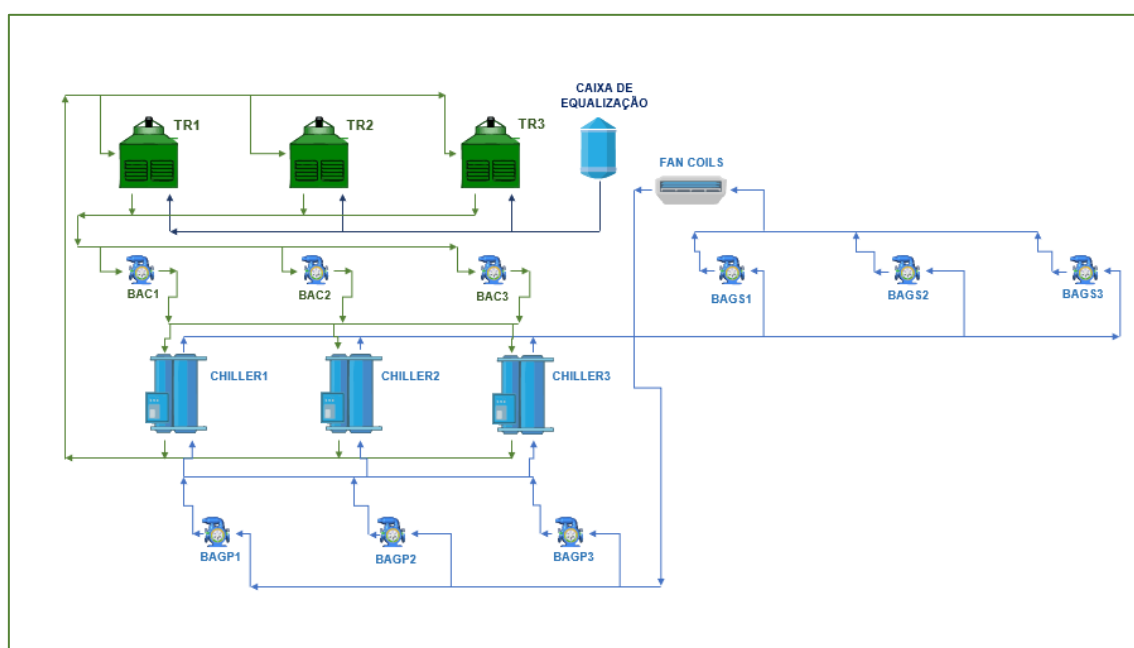


FIGURA 4. Sistema de climatização do *shopping center*. (autoria própria).

### 2.3 Consumo de energia elétrica e tarifas

O shopping possui um contrato com a concessionária de energia elétrica onde há valores diferentes em horários cujo consumo da população tende a ser maior seguindo a classificação Horossazonal Verde. Essas tarifas foram criadas pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, visando melhorar o aproveitamento e tornar mais racional o fornecimento de energia elétrica. As diferenças de preço são para a demanda de potência e consumo de energia elétrica, conforme o horário do dia (ponta e fora de ponta) e os períodos do ano (seco e úmido). As tarifas praticadas no período de ponta e no período seco, são mais caras que os valores cobrados fora de ponta [7].

O valor na ponta (horário na ponta) é aplicado em 3 (três) horas do dia, das 17:30 horas às 20:30 horas. Há exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, “Corpus Christi” e os demais feriados definidos por lei federal. Os horários que complementam o horário de ponta, são ditos fora de ponta [7].

O valor tarifário no horário de ponta (0,94 R\$/kWh) é equivalente a 898,74% do valor fora de ponta (0,11 R\$/kWh) com base no histórico de 6 meses, de abril até setembro do ano de 2022, de contas de energia do *shopping*. Detalhes desse histórico encontra-se no Apêndice B.

Conforme o histórico do Apêndice A, o valor médio da conta de energia do *shopping* é de R\$ 196.158,54, com um consumo médio na ponta de 95.458,13 kWh e fora de ponta de 586.586,00 kWh.

Segundo dados de 2013 da Associação Brasileira de Shopping Centers (ABRASCE) [8], mostram que os gastos com energia elétrica podem chegar a 45% dos custos do condomínio de um shopping center. Sendo que, desse total, entre 50% e 60% são gastos pelo sistema de ar-condicionado. Com base nesses dados e considerando um valor médio de 55%, pode-se afirmar que o custo médio com o sistema de climatização por mês do *shopping* em estudo é equivalente a R\$ 107.887,20 (55% de R\$ 196.158,54).

### 2.4 Dimensionamento do tanque e sua estrutura

O tanque foi dimensionado visando atender o valor de máxima carga determinada no período de ponta (17:00 horas às 21:00 horas). Com base na Figura 4 que apresenta os valores da carga térmica durante o dia, pôde-se somar os quatro valores de carga térmica no período de ponta conforme é visto na Equação 1.

$$\begin{aligned} \text{Energia térmica [TR]} &= (832,86 + 811,90 + 767,57 + 739,00) = 3151,33 & (1) \\ \text{Energia térmica [kWh]} &= 11082,76 \\ \text{Energia térmica [kJ]} &= 39.897.936 \end{aligned}$$

Com a energia térmica, pode-se estimar o volume do tanque, considerando uma variação de 9°C (5°C para temperatura de saída e 14°C para temperatura de retorno) de temperatura da água na entrada e na saída do tanque (utilizando como base os dados dos *chillers*), para tanto utiliza-se da Equação 2 [9].

$$\text{Volume do tanque [m}^3\text{]} = \text{Energia térmica} / (c * \rho * \Delta T * \text{eff}) \quad (2)$$

Onde  $c$  é o calor específico da água,  $\rho$  é a densidade da água,  $\Delta T$  é variação de temperatura da água no tanque e  $\text{eff}$  a eficiência do tanque.

Para o calor específico da água foi considerado o valor de 4,184 J/g°C, densidade igual a 998 kg/m<sup>3</sup> e variação de temperatura de 9°C. Em seu artigo, Andressa Ullmann e Bruno de Rosso colocaram a eficiência do tanque de 80% [10], para considerar a zona de separação das camadas fria e quente [9]. Todavia, essa eficiência leva em consideração também as trocas térmicas que ocorrerão ao longo do dia entre o fluido e o ambiente externo. Na Tabela 3 mostra as características do tanque de água gelada sem considerar a eficiência do tanque e na Tabela 4 as mesmas características só que considerando a eficiência de 80% para o tanque.

TABELA 3. Características do tanque sem considerar as trocas térmicas. (autoria própria).

Volume do tanque [m <sup>3</sup> ]	Diâmetro [m]	Area da base [m <sup>2</sup> ]	Altura [m]
1061,61	9	63,62	17

TABELA 4. Características do tanque considerando as trocas térmicas (eficiência de 80%). (autoria própria).

Volume do tanque [m <sup>3</sup> ]	Diâmetro [m]	Area da base [m <sup>2</sup> ]	Altura [m]
1327,08	9	63,62	21

Conforme é considerado as trocas térmicas, o volume do tanque é elevado entorno de 265,47 m<sup>3</sup>, o que significa um aumento de 25% do volume sem considerar as trocas térmicas.

Como o volume do tanque é bastante elevado, pensando em um material mais econômico, recomenda-se que o tanque seja feito de concreto armado e que o tanque fique exposto ao ambiente. Tomando como base [11], pode-se estruturar o tanque da seguinte maneira: 13 colunas verticais de 0,30 m x 0,30 m e 8 vigas circulares horizontais de 0,3 m x 0,3 m espaçadas 3 m entre elas. Já as paredes teriam 0,25 m de espessura, a parte interna teria vedação emborrachada e na parte externa do tanque teria uma camada extra de poliestireno expandido para reduzir as trocas térmicas. A espessura do poliestireno seria de 0,15m. Na Figura 5 é possível ver a modelagem da estrutura do tanque.

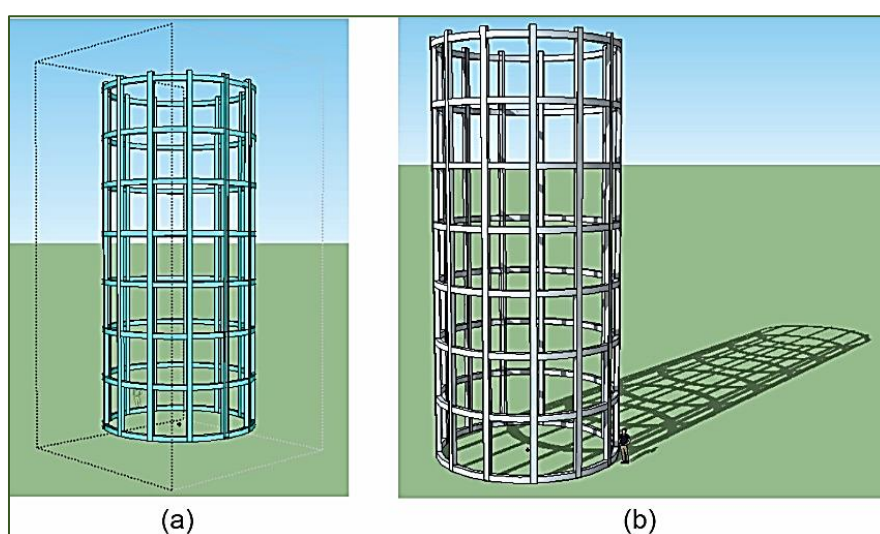


FIGURA 5. Estrutura do tanque de água gelada em 3D: (a) vista frontal; (b) vista realista com sombras. (autoria própria).

### 2.5 Novo sistema de climatização com termoacumulação para o shopping

Como dito, esse trabalho propõe a implantação da termoacumulação no sistema atual do *shopping center* buscando reduzir o custo com energia elétrica. Para tanto, é proposto o seguinte sistema com três ciclos de operação sendo executados:

- 1) Ciclo 1 – *Chillers* + Tanque;
- 2) Ciclo 2 – *Chillers* + *Fan-coil*;
- 3) Ciclo 3 – Tanque + *Fan-coil*.

O Ciclo 1 será utilizado no período noturno das 22:00 horas até às 07:00 horas. Nesse ciclo os dois *chillers* do modelo RTHB serão utilizados para “renovar” a água gelada do tanque, e, dessa forma, armazenando energia térmica que será utilizado no Ciclo 3 no período de ponta. É importante que as vazões de envio de água gelada e de retorno sejam suficientes para “encher” o tanque de água gelada durante o período das 22h às 07h (9 horas).

O Ciclo 2 será utilizado no período das 07:00 horas às 17:00 horas (10 horas). Nesse ciclo água gelada produzida pelos *chillers* será bombeada para os *fan-coils* como é o sistema atual.

O Ciclo 3 será utilizado das 17:00 horas às 21:00 horas. Nesse ciclo a água armazenada no tanque no período noturno fora de ponta, será bombeada para os *fan-coils* e os *chillers* serão desligados pois é nesse período que a tarifa é aumentada, ou seja, horário na ponta. Portanto, ocorre o deslocamento da carga de energia consumida no período de ponta para o período noturno, reduzindo assim a conta de energia do shopping [5]. O tanque deve ser capaz de possuir

água gelada suficiente para suprir o *shopping* durante esse período das 17:00 horas às 21:00 horas (4 horas). Na Figura 6 é possível ver o modelo do sistema proposto.

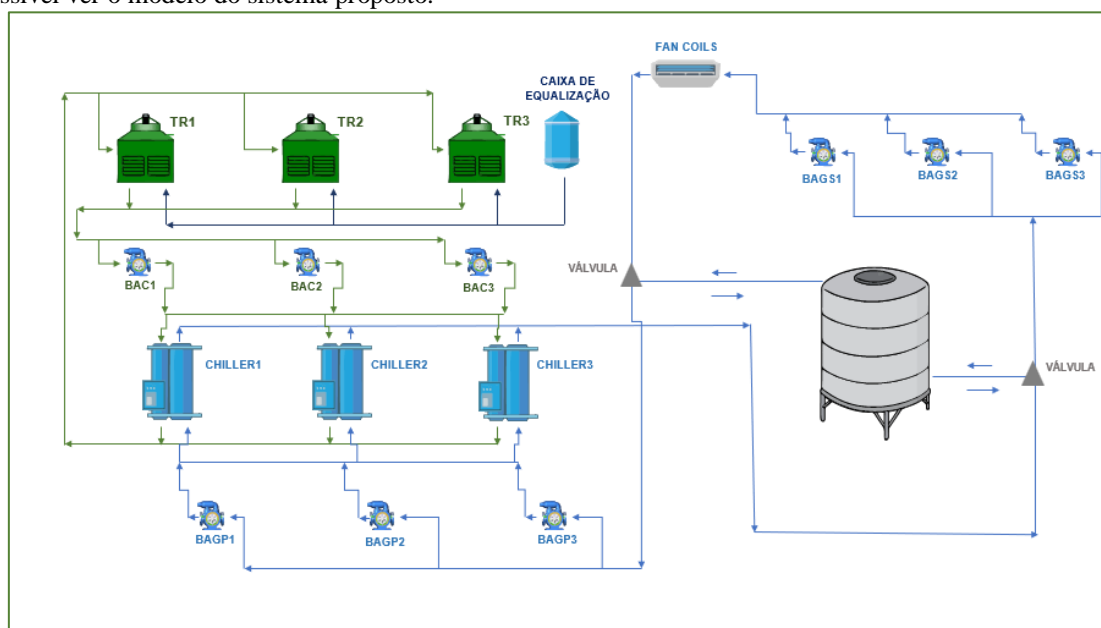


FIGURA 6. Sistema proposto para o *shopping center*. (autoria própria).

### 3. RESULTADOS

Por meio da comparação entre os modelos com e sem termoacumulação, comparação essa que parte da diferença do consumo elétrico dos *chillers* e na redução na fatura energética provocada pelo deslocamento da carga produzida no horário de ponta para o horário fora de ponta, é possível determinar a importância econômica da implementação da termoacumulação no sistema de climatização do *shopping*.

A termoacumulação permite o gerenciamento energético do sistema de climatização por meio do deslocamento de cargas. Isso resulta no uso prolongado dos *chillers* após as 22 horas, pois é nesse momento que os *chillers* serão usados para reabastecer o tanque com água gelada. Dessa forma, o tanque terá capacidade de sustentar a exigência do *shopping* no horário determinado.

Na Figura 7 é possível ver o comportamento da carga acumulada no tanque ao longo do dia e o funcionamento dos *chillers*. É possível perceber a redução da produção de água gelada dos *chillers* e, no mesmo momento, a redução da carga armazenada no tanque a partir das 17 horas. Depois das 21 horas, os *chillers* voltam a funcionar e reabastecer o tanque com água gelada.

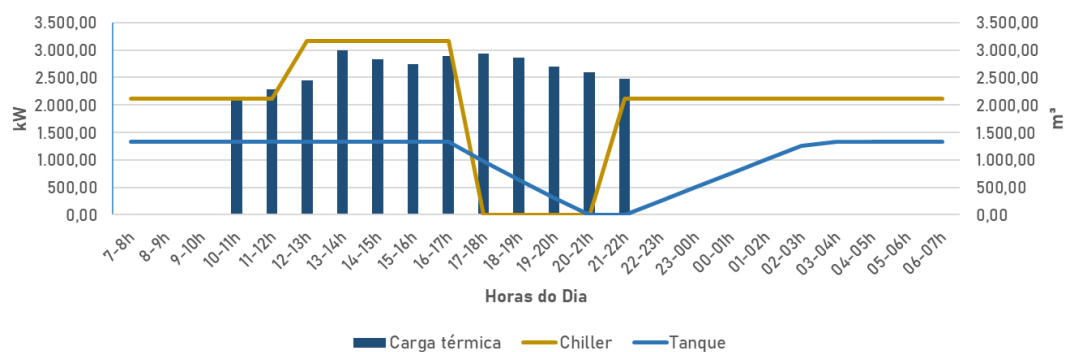


FIGURA 7. Comportamento do tanque e dos *chillers* ao longo do dia. (autoria própria).

Para determinar a influência da termoacumulação nas contas de energia do *shopping*, foram desenvolvidas planilhas eletrônicas que utilizaram os valores tarifários presentes no Figura B1 do Apêndice A. Esta análise levou em consideração o consumo de energia dos *chillers*, *fan-coils*, bombas e os moto-ventiladores das torres.

Na Tabela 5 é possível ver os valores do consumo elétrico do sistema de climatização sem termoacumulação, ou seja, 307.891,84 kWh fora da ponta e 83.166,69 kWh na ponta. Não somente isso, mas é possível saber o custo

em reais que equivale o consumo de energia elétrica do sistema de climatização, tendo como valor médio R\$ 110.951,37. Esse valor médio do custo, obtido por meio de planilhas eletrônicas, é exatamente 56,56% do valor médio da conta geral de energia do *shopping* (R\$ 196.158,54), comprovando os dados de 2013 da ABRASCE [8] que afirma que o custo do consumo elétrico de um sistema de climatização de um *shopping* está entre 50% e 60% da conta geral de energia dele.

TABELA 5. Consumo e custo do sistema de climatização sem termoacumulação. (autoria própria).

	Abril			Maio			Junho		
	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)
Uso do Sist. a Encargo Na Ponta(kWh)	83.166,69	0,89	74.218,45	83.166,69	0,90	75.249,69	83.166,69	0,90	75.048,89
Uso Sist. Enc. F. de Ponta(kWh)	307.891,84	0,09	28.556,80	307.891,84	0,09	28.953,58	307.891,84	0,09	29.191,86
<b>Total a Pagar (R\$)</b>			<b>102.775,25</b>			<b>104.203,28</b>			<b>104.240,75</b>
	Julho			Agosto			Setembro		
	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)
Uso do Sist. a Encargo Na Ponta(kWh)	83.166,69	1,02	85.157,71	83.166,69	1,03	85.245,86	83.166,69	0,91	75.539,56
Uso Sist. Enc. F. de Ponta(kWh)	307.891,84	0,12	37.576,97	307.891,84	0,12	37.576,97	307.891,84	0,11	33.391,86
<b>Total a Pagar (R\$)</b>			<b>122.734,67</b>			<b>122.822,83</b>			<b>108.931,43</b>

Já na Tabela 6 é possível ver os valores do consumo elétrico do sistema com termoacumulação, que ficou: 455.545,88 kWh fora da ponta e 43.860,29 kWh na ponta. É possível saber também o custo em reais que equivale esse consumo de energia elétrica, tendo como valor médio R\$ 89.498,75. Esse valor médio do custo representa uma redução de 19,34%, ou seja, uma economia mensal de R\$ 21.452,62. Em 6 meses (de abril até setembro) uma economia de R\$ 128.715,70.

TABELA 6. Consumo e custo do sistema de climatização com termoacumulação. (autoria própria).

	Abril			Maio			Junho		
	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)
Uso do Sist. a Encargo Na Ponta(kWh)	43.860,29	0,89	39.141,19	43.860,29	0,90	39.685,04	43.860,29	0,90	39.579,14
Uso Sist. Enc. F. de Ponta(kWh)	455.545,88	0,09	42.251,63	455.545,88	0,09	42.838,70	455.545,88	0,09	43.191,24
<b>Total a Pagar (R\$)</b>			<b>81.392,81</b>			<b>82.523,74</b>			<b>82.770,38</b>
	Julho			Agosto			Setembro		
	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)
Uso do Sist. a Encargo Na Ponta(kWh)	43.860,29	1,02	44.910,31	43.860,29	1,03	44.956,80	43.860,29	0,91	39.837,91
Uso Sist. Enc. F. de Ponta(kWh)	455.545,88	0,12	55.597,55	455.545,88	0,12	55.597,55	455.545,88	0,11	49.405,42
<b>Total a Pagar (R\$)</b>			<b>100.507,86</b>			<b>100.554,35</b>			<b>89.243,33</b>



Os valores encontrados de redução de custo estão de acordo com os estudos [5] e [11] que tiveram resultados próximos: 15% [5] e 24% [11].

#### 4. CONCLUSÃO

Conforme o presente trabalho, ficou comprovado que a implementação de termoacumulação, um tanque de água gelada, em um *shopping center* da região nordeste do país, possibilita a redução do consumo de energia elétrica do sistema de climatização e, conseqüentemente, o custo com conta de energia é reduzido.

Com o deslocamento da carga do período de ponta para fora de ponta, os *chillers* tiveram seu tempo de funcionamento elevado (de 13 horas para 20 horas). Todavia, boa parte desse funcionamento extra é no período noturno e conforme [12], além de ter economia pois evita os horários com maior tarifa de energia, os *chillers* irão trabalhar com temperatura externa bem baixa, aumentando a eficiência do sistema.

Custos com instalação do tanque de água gelada não foram contabilizados nesse trabalho.

Para trabalhos futuros, sugere-se realizar a avaliação do investimento e o retorno considerando os custos com a instalação do tanque de água gelada.

#### REFERÊNCIAS

- [1] The Future of Cooling: Opportunities for energy-efficient air conditioning. 2018.
- [2] SEHAR, F.; RAHMAN, S.; PIPATTANASOMPORN, M. Impacts of ice storage on electrical energy consumptions in office buildings. *Energy and Buildings*. v. 51, p. 255–262, 2012.
- [3] UFPR. Termoacumulação. 2022. Disponível em: <[https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/8\\_TERMOACUMULACAO.pdf](https://docs.ufpr.br/~rudmar/clima/material/8_TERMOACUMULACAO.pdf)>.
- [4] SERGIO, P. Estudo de viabilidade técnico-econômica do uso de termoacumulação em um sistema de ar condicionado de um estabelecimento comercial. Tese (Bacharelado em engenharia ambiental) – Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, p. 19. 2020.
- [5] KRELLING, Amanda Fraga. Estudo do controle preditivo da termoacumulação de água gelada por meio de previsões de carga. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 28. 2019.
- [6] MEDEIROS, F.; CADE R. Estudo de viabilidade econômica para a implementação de um sistema de ar condicionado utilizando a termoacumulação. Tese (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 4. 2013.
- [7] NEOENERGIA. Opções Tarifárias. 2022. Disponível em: <<https://servicos.neoenergiapernambuco.com.br/residencialrural/Pages/Alta%20Tens%C3%A3o/opcoes-tarifarias.aspx>>.
- [8] ABRASCE (2013).
- [9] ASHRAE. 2009. ASHRAE Handbook: fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2009.
- [10] DUARTE, A. Ullmann; RIBEIRO, B. de Rosso. Análise de implantação de termoacumulação em sistema de climatização. *MERCOFRIO*, p. 7. 2018.
- [11] FEDALTO, André Luis. Dimensionamento de um termoacumulador de água gelada para um sistema de refrigeração visando a diminuição dos gastos com energia elétrica. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- [12] RISMANCHI, B.; SAIDUR, R., MASJUKI, H.H.; MAHLIA, T.M.I. Thermodynamic evaluation of utilizing different ice thermal energy storage systems for cooling application in office buildings in Malaysia. *Energy and Buildings*. v. 53, p. 117–126, 2012.

APÊNDICE A – Lojas do *Shopping Center*

Nome da Loja	Quantidade de <i>Fan-coil</i>	Capacidade Total (TR)	Potência Total (CV)
Bom Preço	3	282,5	20
Casas Bahia	1	35	7,5
UD Brands	1	5	3
VID Bijouterias	1	4	3
Morenita	1	3	3
Skyler	1	5	3
Live	1	5	3
Mioche	1	5	3
Cláudia Joalheria	1	3	3
Hope	1	3	3
The Body Shop	1	3	3
Ana Capri	1	5	3
Óticas Rubi	1	5	3
My Gift	1	3	3
Mahogany	1	3	3
Kopenhagen	1	4	3
Rei do Mate	1	4	3
Puket	1	3	3
Cacau Show	1	3	3
Alphabeto	1	4	3
Bromer	1	3	3
Fastton's	1	3	3
Clube Melissa	1	4	3
Quem disse Berenice?	1	3	3
Lupo	1	3	3
UD Brands Kids	1	3	3
VIVO	1	7,5	3
Carmem Steffens	1	5	3
Aky Modas	1	4	3
Geany Calçados	1	15	1,5
LOJA VAGA	1	3	3
Polo Wear	1	20	7,5
Colcci	1	4	3
Havaianas	1	3	3
Brasilvita	1	3	3
Beauty Center	1	10	5
Visolux	1	7,5	3
UD Concept	1	3	3

Vivara	1	7,5	3
CVC	1	4	3
Tolli	1	5	3
Sonho dos Pés	1	4	3
O Boticário	1	15	1,5
Le Postiche	1	7,5	3
Rio Sol	1	3	3
SmartCell	1	2,4	3
Imagem	1	2,4	3
Mundial Bordado	1	2,7	3
Malgueta Grill	1	7,5	3
Pastellito	1	5	3
Patroni Pizza	1	5	3
Griletto	1	4	3
Subway	1	3	3
Bonaparte	1	6	3
Camarão & Cia	1	3	3
Hani's	1	5	3
Pastelândia	1	4	3
Divino Fogão	1	7,5	3
Burger King	1	12,5	5
Daik Wok	1	7,5	3
Milkshake Fest	1	3	3
Pizza Hut	1	10	5
Areca	1	3	3
Arezzo	1	7,5	3
Mercado da Beleza	1	12	5
Polishop	1	8	3
Claro	1	12	5
Carmem Steffens Concept	1	6	3
Canard	1	7,5	3
Espaço Laser	1	3	3
Bebelu	1	5	3
Girafas	1	3	3
Suco é Suco	1	2	3
Açaí no Grau	1	3	3
LOJA VAGA	1	4	3
Mundo da Lua Store	1	10	5
Mundo da Lua Kids	1	10	5
Mundo da Lua Kids	1	10	5

Pernambucred	1	5	3
Pernambucred	1	5	3
Polo UK	1	3	3
Santa Lolla	1	4	3
Imaginarium	1	3	3
Dress To	1	5	3
Maria Filó	1	4	3
Democrata	1	6,5	3
Gran Nutri	1	5	3
Finnofarma	1	4	3
São Braz	1	5	3
Drogasil	1	14,5	1,5
Mercatto	1	4	3
TIM	1	5	3
Maurikatu	1	3	3
Maurikatu	1	3	3
Litoraneus	1	3	3
Cia do Terno	1	3	3
Tip Top	1	4	3
Usaflex	1	3	3
Bibi Calçados	1	3	3
Autentica	1	4	3
Ortobom	1	5	3
Arranjos Express	1	3	3
Lotérica River Sorte	1	3	3
Trakinagem	1	4	3
Mr Kisch	1	6	3
Total	107	854	352,5

APÊNDICE B – Dados das contas de energia do *shopping center*

	Abril			Maio			Junho		
	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)
Dem. Reativa Excedente.(kVAR)	-	26,16	-	-	26,52	-	-	26,36	-
Uso do Sistema Fio(kW)	2.200,00	13,08	28.774,17	2.200,00	13,26	29.173,98	2.200,00	13,18	28.995,89
Uso do Sist. a Encargo Na Ponta(kWh)	97.296,36	0,89	86.827,85	106.501,92	0,90	96.363,54	90.430,20	0,90	81.603,42
Uso Sist. Enc. F. de Ponta(kWh)	573.090,00	0,09	53.153,78	643.482,00	0,09	60.511,86	595.140,00	0,09	56.426,44
Con. Reativo Exc. Na Ponta(kVARh)	1.874,46	0,38	706,47	1.107,12	0,38	423,06	766,50	0,38	293,87
Com. Reativo Exc. F. Ponta(kVARh)	7.266,00	0,38	2.738,49	4.158,00	0,38	1.588,89	3.108,00	0,38	1.191,58
Contrib. Ilum. Pública			1.703,55			1.703,55			1.724,85
ICMS			978,54			921,34			996,87
Outros impostos			8.758,88			9.935,00			9.126,44
Total a Pagar (R\$)			183.641,73			200.621,23			180.359,36
	Julho			Agosto			Setembro		
	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)	Qtd	Preço (R\$)	Valor (R\$)
Dem. Reativa Excedente.(kVAR)	-	28,62	-	-	28,62	-	-	25,43	-
Uso do Sistema Fio(kW)	2.200,00	14,31	31.486,89	2.200,00	14,34	31.548,00	2.200,00	12,72	27.973,70
Uso do Sist. a Encargo Na Ponta(kWh)	100.673,16	1,02	103.083,28	90.174,64	1,03	92.429,01	87.672,48	0,91	79.632,13
Uso Sist. Enc. F. de Ponta(kWh)	604.884,00	0,12	73.823,67	554.358,00	0,12	67.657,18	548.562,00	0,11	59.493,31
Con. Reativo Exc. Na Ponta(kVARh)	699,30	0,47	326,74	544,32	0,47	254,32	15,96	0,42	6,63
Com. Reativo Exc. F. Ponta(kVARh)	2.982,00	0,47	1.393,29	2.814,00	0,47	1.314,80	462,00	0,42	192,09
Contrib. Ilum. Pública			2.023,45			2.023,45			1.972,60
ICMS			977,35			1.197,60			1.607,37
Outros impostos			11.659,23			10.670,91			9.581,95
Total a Pagar (R\$)			224.773,90			207.095,26			180.459,78

FIGURA B1. Dados das contas de energia do *shopping center* de abril até setembro. (autoria própria).