

## ENERGIA SOLAR APLICADA À CLIMATIZAÇÃO DE UM RESTAURANTE INDUSTRIAL

Sampaio Takeo Aoki Araujo Martins, [sampaiotakeo@gmail.com](mailto:sampaiotakeo@gmail.com)<sup>1</sup>  
Ana Paula Mattos, [anapmattos@ufpa.br](mailto:anapmattos@ufpa.br)<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 66075-110.

**Resumo.** O conforto térmico é essencial para manter um ambiente agradável, portanto é necessário o dimensionamento correto do sistema de climatização. A refrigeração de restaurantes é complexa, pois ao mesmo tempo que o ambiente deve ser refrigerado para as pessoas que frequentam, é necessário garantir uma temperatura adequada de conservação dos alimentos. Por apresentar elevado consumo energético, os equipamentos de refrigeração são relevantes em auditorias energéticas. O atual trabalho utiliza, como estudo de caso, o refeitório de uma industrial de grande porte, situada em Barcarena/PA. O objetivo é determinar a carga térmica real requerida pelo ambiente e, dimensionar um sistema solar fotovoltaico para reduzir a sobrecarga no sistema energético da fábrica. A metodologia utilizada no estudo baseia-se na elaboração e aplicação de ferramentas computacionais de auxílio no cálculo da carga térmica ambiente e, na seleção de um sistema solar fotovoltaico mais adequado ao ambiente. Os resultados demonstram que o sistema fotovoltaico selecionado é capaz de suprir 78% da demanda energética dos equipamentos de refrigeração, a partir de um investimento inicial de R\$ 710.658. Apesar do custo inicial elevado, o projeto é considerado economicamente viável, com um payback de 3,25 anos, Valor Presente Líquido (VPL) positivo e Taxa Interna de Retorno (TIR) maior que a taxa de atratividade, 10%.

**Palavras chave:** Conforto Térmico. Climatização. Refrigeração. Restaurante. Sistema Fotovoltaico.

**Abstract.** Thermal comfort is essential to maintain a pleasant environment; therefore, the HVAC system's correct dimensioning is necessary. The refrigeration of restaurants is tricky because, at the same time that the environment has to be refrigerated for the people to attend, it's essential to ensure an appropriate temperature for food preservation. Because of their high energy consumption, refrigeration equipment is relevant in energy audits. The objective is to determine the environment's actual cooling load and design a photovoltaic solar system to reduce overload on plant's energy system. As a case study, the present work uses a large industry's restaurant located in Barcarena/PA. The methodology used in the study is based on the elaboration and application of computational tools to support cooling load calculations and analysis of the most appropriate photovoltaic solar systems to the environment. The results show that the selected photovoltaic system can provide 78% of the refrigeration equipment's energy demand from an initial investment of R\$ 710,658. Despite the high initial cost, the project is considered economically viable, with a payback of 3.25 years, positive Net Present Value (NPV), and Internal Rate of Return (IRR) higher than the rate of attractiveness, 10%.

**Keywords:** Thermal Comfort, Climatization, Refrigeration, Restaurant, Photovoltaic System.

### 1. INTRODUÇÃO

A carga térmica pode ser definida como a quantidade de calor sensível e latente que deve ser retirada de um ambiente, a fim de proporcionar as condições necessárias para conforto e para conservação de produtos e processos industriais. Segundo a NBR 16401-1, as cargas térmicas devem ser calculadas a partir das condições internas e externas do ambiente, além da quantidade de horas do dia que forem necessárias para determinar as cargas máximas de cada zona. A fim de se determinar a carga térmica requerida pelo ambiente, é admissível adotar o método ASHRAE CLTD/SCL/CLF de análise para sistemas com zona única ou número mínimo de zonas. A NBR 16401-1 define que o método é uma versão simplificada, adaptada para cálculo manual, do Método das Funções de Transferência (TFM). Consiste basicamente em tabelas de fatores e coeficientes pré-estabelecidos para construções e situações típicas (ABNT, 2008).

A elevada demanda por sistemas de refrigeração em processos industriais e ambientes residenciais promove, também, maior exploração de recursos energéticos. O consumo acentuado de energia, embora possa refletir o desenvolvimento econômico e social do país, possui aspectos negativos. Um deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia. Segundo a EPE (2019), o Brasil dispõe de uma matriz energética predominantemente hídrica, com oferta interna de 66,6%. Apesar de ser considerada uma fonte renovável e limpa, as usinas hidroelétricas, além do impacto ambiental e social gerados nas regiões adjacentes, são suscetíveis à variabilidade temporal e às condições

meteorológicas locais. Em sua grande parte, o território brasileiro está localizado em uma região intertropical e possui grande potencial anual para utilização de energia solar. A longo prazo, o aproveitamento dessa fonte renovável de energia corrobora com o desenvolvimento de regiões remotas, onde o custo da energia elétrica convencional é demasiadamente alto.

O território brasileiro recebe elevadas taxas de irradiação solar em todas as regiões, destacando-se a região Norte conforme a Fig. 1. Em comparação com outros países que concentram a maior parte da geração fotovoltaica no mundo, o Brasil é privilegiado quanto ao aproveitamento dessa fonte de energia (INPE, 2017). Regiões com elevados índices de radiação solar são propícias à implantação de sistemas solares. No entanto, os elevados custos iniciais e a falta de incentivos governamentais, são fatores que dificultam a expansão desse mercado no Brasil. Existem estudos que comprovam a eficiência da energia solar como fonte energética em sistemas de refrigeração. Segundo Martins (2004), a energia solar torna-se economicamente viável a longo prazo, com custos menores em relação a energia elétrica convencional. Afirma-se, também, que a energia solar é uma fonte limpa, além de ser socialmente viável devido a disponibilização em regiões de difícil acesso à rede elétrica convencional.

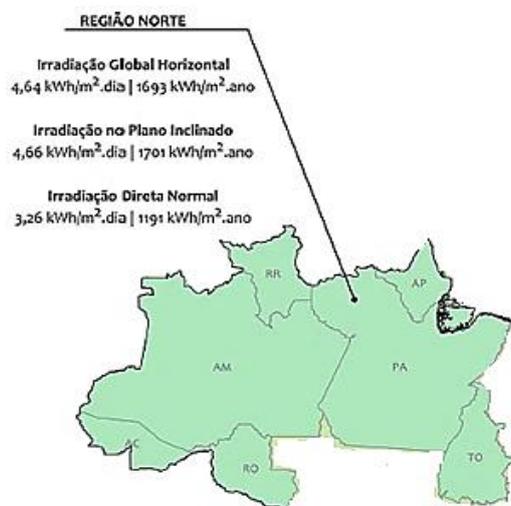


Figura 1. Irradiação solar na região Norte do Brasil (INPE, 2017)

Os sistemas fotovoltaicos são classificados de acordo com a geração e distribuição da energia elétrica. O estudo de caso concentra-se nos sistemas conectados à rede, *On-Grid*, devido aos menores custos de implantação do projeto, além do retorno financeiro proveniente do excedente de energia injetado na rede elétrica. Os grupos conectados à rede não utilizam componentes de armazenamento de energia, por esse motivo são mais eficientes que os sistemas autônomos, além de, geralmente, serem mais acessíveis (Souza, 2014). Aliada à geração sustentável de energia elétrica, o sistema *On-grid* apresenta tarifação energética diferenciada. A tarifação *net metering* é empregada em sistemas, conectados à rede, que permitem registrar a energia exportada pelo domicílio durante o dia, produzindo créditos a serem deduzidos na conta de energia elétrica (Villalva e Gazoli, 2012). No Brasil, de acordo com a resolução da ANEEL nº 482/2012, o “crédito de energia” não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater as despesas da unidade consumidora nos meses subsequentes, com validade de 60 meses (ANEEL, 2015).

Mediante a elaboração e utilização de *softwares* computacionais para o dimensionamento dos sistemas de refrigeração e fotovoltaico, o artigo tem por objetivo determinar a carga térmica real requerida pelo ambiente e, dimensionar um sistema solar fotovoltaico para reduzir a sobrecarga no sistema energético da fábrica.

## 2. METODOLOGIA

O objeto de estudo está localizado na rodovia PA 481, Km 12, distrito de Murucupi, município de Barcarena, estado do Pará, latitude 1°32'54" Sul, longitude 48°43'52" Oeste e altitude de 15 metros, dados disponibilizados pela ferramenta digital *Google Earth*. Para dados de projeto, considera-se as informações fornecidas pela NBR 16401-1 para a cidade de Belém, uma vez que os parâmetros listados mais se aproximam dos parâmetros climáticos da localidade de estudo. O restaurante possui a capacidade máxima de aproximadamente 350 pessoas, com o fluxo variado por turno de trabalho. A atual configuração conta com duas splits piso teto de 60.000 BTUS e 48.000 BTUS, respectivamente, e um Splitão de 40 TR, somando um total de 49 TR.

De acordo com a planta baixa disponibilizada pela empresa, o espaço destinado para refeições de funcionários soma um total de, aproximadamente, 552 m<sup>2</sup>. A Figura 2 fornece a representação interior do refeitório. Além do refeitório, o edifício, de 1622,60 m<sup>2</sup> de área construída, contempla cozinha industrial e área de convívio dos funcionários. A área de convívio dos funcionários é um local adjacente ao salão que apresenta condições térmicas similares ao ambiente exterior.

Dessa forma, para fins de cálculo, as condições adotadas para o ambiente exterior ao salão serão consideradas iguais às condições da área de lazer dos funcionários.



Figura 2. Representação do interior do refeitório (Silva, 2020)

## 2.1. Carga térmica

As informações disponibilizadas pela literatura são de extrema importância para a determinação da carga térmica necessária em ambientes condicionados, proporcionando dados mais exatos possíveis para evitar o superdimensionamento do sistema e, consequentemente o uso de fatores de segurança para compensar eventuais incertezas no cálculo. A carga térmica do ambiente é determinada a partir da elaboração de uma planilha de cálculo, conforme Tab. 1, baseada nos fatores fornecidos pela ABNT NBR 16401 (2008) e pela metodologia de cálculo fornecida por Martins (2020).

Tabela 1. Equacionamento adotado no cálculo da carga térmica do ambiente (Martins, 2020)

Carga Térmica [W]	Equacionamento
<b>Transmissão: Paredes externas e cobertura</b>	$Q_{P,C} = U \cdot A \cdot [CLTD + (25,5 - t_{ac}) + (\bar{t}_{ae} - 29,4)]$
<b>Transmissão: Paredes internas e divisórias</b>	$Q_{div} = U \cdot A \cdot (\bar{t}_{adj} - t_{ac})$
<b>Transmissão: Superfícies transparentes</b>	$Q_{Cond} = U \cdot A \cdot [CLTD + (25,5 - t_{ac}) + (\bar{t}_{ae} - 29,4)]$ $Q_{rad} = A \cdot SC \cdot SCL$ $Q_{st} = Q_{cond} + Q_{rad}$
<b>Ocupação</b>	$Q_{oc} = (N \cdot C_s \cdot CLF) + (N \cdot C_L)$
<b>Iluminação</b>	$Q_{ilu} = P_{ilu} \cdot CLF$
<b>Equipamentos e utensílios diversos</b>	$Q_{eq} = P_{eq} \cdot CLF$
<b>Ventilação e Infiltração</b>	$Q_{ae,s} = \frac{\dot{V}_{ae}}{v_{ae}} \cdot C_{p_{ae}} \cdot (t_{ae} - t_{ac})$ $Q_{ae,l} = \frac{\dot{V}_{ae}}{v_{ae}} \cdot (W_{ae} - W_i) \cdot h_{lv}$ $Q_{ae} = Q_{ae,s} + Q_{ae,l}$
<b>Legenda:</b> U: Coeficiente de transferência de calor (W/m <sup>2</sup> .°C); A: Área da superfície (m <sup>2</sup> ); CLTD: Valor tabelado da diferença de temperatura na superfície (°C); t <sub>ac</sub> : Temperatura de projeto do ambiente condicionado (°C); $\bar{t}_{ae}$ : Temperatura média do ar externo ao longo do dia (°C); $\bar{t}_{adj}$ : Temperatura média do ambiente adjacente na hora considerada (°C); SCL: Fator de carga térmica da radiação solar transmitida (W/m <sup>2</sup> ); SC: Fator de sombreamento; N: Quantidade de ocupantes; C <sub>s</sub> : Taxa de dissipação de calor sensível, em função da atividade (W/pessoa); C <sub>L</sub> : Taxa de calor latente, em função da atividade (W/pessoa); CLF: Fator de carga de resfriamento; P <sub>ilu</sub> : Potência instalada de iluminação (W); P <sub>eq</sub> : Potência instalada do equipamento (W); $\dot{V}_{ae}$ : Vazão de ar exterior a ser suprida na zona de ventilação (L/s); v <sub>ae</sub> : Volume específico do ar externo (m <sup>3</sup> /kga); C <sub>p<sub>ae</sub></sub> : Calor específico do ar externo à pressão constante (J/kg.°C); W <sub>ae</sub> : Umidade absoluta do ar externo (kgv/kga); W <sub>i</sub> : Umidade absoluta do ar no ambiente condicionado (kgv/kga); h <sub>lv</sub> : Calor latente de vaporização da água (J/kg).	

## 2.2. Sistema solar fotovoltaico

O dimensionamento e a seleção dos componentes do sistema fotovoltaico serão realizados com o auxílio do *software PVsyst V.7.0*. O *PVsyst* é uma ferramenta para estudo, dimensionamento e análise de dados de sistemas fotovoltaicos, com recursos de simulação, cálculo, emissão de relatório e documentação técnica de sistemas com portes variados. Além de projetos detalhados, a plataforma disponibiliza ferramentas de pré-dimensionamento de sistemas, com análises rápidas que auxiliam a viabilização de projetos. A partir do input dos dados, definidos na Tab. 2, são estabelecidos os parâmetros ideais do projeto. Adotou-se a como variável principal, uma vez que o ambiente apresenta boa disponibilidade de espaço, com inexistência de prédios ou estruturas capazes de causar sombreamento.

Tabela 2. Variáveis de entrada no *software PVsyst* (Martins, 2020)

Parâmetros	Valor
Área disponível (m <sup>2</sup> )	890
Ângulo do telhado (°)	15
Ângulo Azimutal (°)	-33

A qualidade e a confiabilidade técnica são fatores primordiais para a seleção de módulos e inversores. De acordo com Greener (2018), as empresas que fornecem suporte diferenciado aos clientes apresentam maiores chances de consolidação no mercado brasileiro. Diante disso, selecionou-se os componentes das marcas com maior atuação no mercado nacional, como a *Canadian Solar Inc.* e ABB, fabricantes de módulos fotovoltaicos e inversores, respectivamente. Após o preenchimento dos dados de entrada no *software* e a seleção dos fabricantes o sistema ideal é definido.

## 2.3. Viabilidade econômica

Avalia-se o investimento inicial de projeto quanto à aquisição do equipamento de refrigeração, do tipo Splitão, e dos componentes do sistema fotovoltaico, como módulos e inversores. É importante ressaltar que muitos fabricantes de módulos e inversores são estrangeiros e, por esse motivo, estão suscetíveis a oscilações do câmbio comercial. Em meio ao cenário nacional de energia solar fotovoltaica, destaca-se a Greener, empresa de pesquisa e consultoria. A Greener elabora estudos estratégico acerca do mercado fotovoltaico de geração distribuída. Com o auxílio da ferramenta computacional disponibilizada pela Fotaic Energia Solar, determina-se a viabilidade da oportunidade de investimento. O *software*, disponibilizado na plataforma *Excel®*, realiza diferentes métodos de análise econômica de projetos de investimentos, tais como: o período de *payback*, o método do Valor Presente Líquido (VPL) e o Método da Taxa Interna de Retorno (TIR).

O *payback* é definido pelo cálculo do período de retorno de investimentos realizados no projeto, por meio da geração dos fluxos de caixa. É bastante utilizado como método de análise do nível de risco de um projeto de investimento, ou seja, quanto maior for o prazo para a empresa recuperar o seu investimento, maior será o risco envolvido. O VPL é um método que leva em consideração o valor monetário no tempo. A partir do VPL, a empresa determina uma taxa mínima de retorno exigida, que geralmente corresponde ao seu custo de oportunidade (Machado, 2004). Em alternativa a TIR é a da taxa de desconto que iguala o valor presente das entradas de caixa ao investimento inicial, ou seja, a taxa de desconto que se iguala ao VPL de um investimento a R\$ 0 (fluxo de caixa de entrada igual o fluxo de caixa de saída). Dessa forma, se a taxa encontrada for maior que a taxa desconto, também conhecida como custo de oportunidade, o projeto é considerado viável economicamente (Gitman, 2004). A Tabela 3 contém as variáveis utilizadas no cálculo da oportunidade de investimento.

Tabela 3. Variáveis utilizadas no cálculo de viabilidade econômica do projeto (Autor, 2020)

Variáveis de Entrada	
Consumo atual	28.885 kWh/mês
Custo de disponibilidade (trifásico = 100; bifásico = 50; monofásico = 30)	100 kWh/mês
Energia gerada	22.583 kWh/mês
Iluminação pública antes Grupo A (20001-30000 kWh)	R\$ 1.473,54
Iluminação pública com o projeto solar (50%)	R\$ 736,77
Tarifa	0,70321 R\$/kWh
Aumento da tarifa	8%
Taxa de desconto	10%
Investimento	R\$ 710.658,50

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O cálculo da carga térmica para o local de estudo será obtido em função de dois períodos do dia. O primeiro, estipulado às 12 horas, é caracterizado pela ocupação máxima do ambiente. O segundo período, estipulado às 14 horas, é caracterizado pela máxima temperatura externa do ambiente. A Figura 3 contém os parâmetros utilizados nas equações descritas na Tab. 1.

Carga térmica de Transmissão em Paredes externas e cobertura														
Orientação	Área (m <sup>2</sup> )		U (W/m <sup>2</sup> .K)		CLTD (°C)		Q <sub>p,c</sub> (W)		Q <sub>t</sub> (W)					
Hora (h)	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14				
Sudoeste	28,64		2,46		3,3		232,50		782,04					
Nordeste	13,16		2,46		10,6		433,62		673,08					
Cobertura	551,61		1,54		42,8		36357,72		45786,34					
									37089,83		47248,06			
Carga térmica de Transmissão em Paredes internas e divisórias														
Orientação	Área (m <sup>2</sup> )		U (W/m <sup>2</sup> .K)		CLTD (°C)		Q <sub>div</sub> (W)		Q <sub>t</sub> (W)					
Hora (h)	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14				
Sudeste (A.convívio)	41,35		2,46		-		396,71		508,61					
Noroeste (Cozinha)	34,89		2,46		-		380,40		700,29					
									1377,12		1208,89			
Carga térmica de Transmissão em Superfícies Transparentes														
Orientação	Área (m <sup>2</sup> )		U (W/m <sup>2</sup> .K)		CLTD (°C)		SCL (W/m <sup>2</sup> )		SC		Q <sub>g,t,r</sub> (W)		Q <sub>t</sub> (W)	
Hora (h)	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14
Sudoeste	29,832		5,9		5	7	170,2	353,1	0,95	0,95	880,04	1425,67	4823,54	10007,00
Nordeste	28,678		5,9		5	7	113,5	110,3	0,95	0,95	846,00	1370,52	3032,21	3005,02
													9641,79	15808,21
Carga térmica de Ocupação														
Hora (h)	Ocupantes (N)	C <sub>o</sub> (W/pessoa)	C <sub>i</sub> (W/pessoa)	CLF	Q <sub>oc,s</sub> (W)	Q <sub>oc,l</sub> (W)	Q <sub>t</sub> (W)							
12	350	80	80	0,53	16520	28000	44520,00							
14	105	80	80	0,53	4356	8400	13356,00							
Carga térmica de Iluminação														
Hora (h)	Área (m <sup>2</sup> )	Potênci <sub>s</sub> (W/m <sup>2</sup> )	CLF	Q <sub>ilu</sub> (W)		Q <sub>t</sub> (W)								
12	551,61	13	0,86	6167,00		6167,00								
14	551,61	13	0,83	6382,13		6382,13								
Carga térmica de Equipamentos e Utensílios Diversos														
Equipamentos	Quantidade		Dissipação de calor (W)		CLF		Q <sub>t</sub> (W)							
Aquecedor (banho marim)	3		18760		0,67	0,76								
Congelador (pequeno)	1		320		0,83	0,32								
Refrigerador (pequeno)	2		1380		0,83	0,32								
Bebedouro industrial	1		350		0,83	0,32								
							14393,70	16143,60						
Carga térmica devido à vazão de ar externo														
Ventilação														
Hora (h)	Ocupantes (N)	Área (m <sup>2</sup> )	F <sub>p</sub> (L/s.pessoa)	F <sub>a</sub> (L/s.m <sup>2</sup> )	Vazão de ar (L/s)		Q <sub>ae,s</sub> (W)		Q <sub>ae,l</sub> (W)		Q <sub>t</sub> (W)			
Nível Mínimo	350	105	551,61	3,8	0,9	1826	895,5	16325,80	9135,19	56652,7747	34145,12	72978,58	43280,30	
Nível Máximo	350	105	551,61	5,7	1,4	2767	1371	24735,23	13984	85834,6537	52269,37	110569,88	66253,52	
Infiltração														
Variáveis	Portas Automáticas (2)		Porta vai-e-vem		Porta aberta (m/h)		Q <sub>t</sub> (W)							
Hora (h)	12	14	12	14	12	14	12	14						
Trocas de ar (m <sup>3</sup> /h.pessoa)	-	-	4	4	2000	2000								
Ocupantes (N)	350	105	40	20	-	-								
H (m)	2,5	2,5	-	-	-	-								
Hnpl (m)	1,1	1,1	-	-	-	-								
ΔP <sub>s</sub> (Pa)	-0,413340	-0,471756	-	-	-	-								
Pw (Pa)	0	0	-	-	-	-								
ΔP (Pa)	0,413340	0,471756	-	-	-	-								
C <sub>s</sub> (L/s.m <sup>2</sup> .Pa <sup>0,5</sup> )	330	110	-	-	-	-								
L <sub>porta</sub> (m)	0,92	0,92	-	-	-	-								
H <sub>porta</sub> (m)	2,2	2,2	-	-	-	-								
A (m <sup>2</sup> )	2,024	2,024	-	-	-	-								
g (m/s <sup>2</sup> )	3,81	3,81	-	-	-	-								
V <sub>vento</sub> (m/s)	0	0	-	-	-	-								
Vazão de ar (L/s)	429,42	152,32	44,44	22,22	555,56	555,56								
Q <sub>ae,s</sub> (W)	7676,71	3120,10	212,85	76,45	2660,59	1911,31								
Q <sub>ae,l</sub> (W)	26633,24	11662,17	363,26	414,28	12040,80	10357,10								

Figura 3. Parâmetros utilizados no cálculo da carga térmica

A carga térmica total, em função do horário, é obtida a partir do somatório de todas as cargas específicas, de acordo com a Fig. 4. Conforme a norma NBR 16401-3, considerou-se, para os cálculos da vazão eficaz de ar exterior, os níveis 1 e 3. O nível 1 define a vazão mínima de ar exterior para ventilação, enquanto que o nível 3 é considerado, segundo estudos, o nível com menor índice de reclamações e manifestações alérgicas. Dessa forma, a Fig. 5 apresenta a carga térmica, em TR, necessária para suprir as necessidades do ambiente. É perceptível a discrepância de valores em relação ao período com maior fluxo de funcionários e, ao nível de ventilação adotado pelo ambiente. Portanto, as modificações em ambientes devem acompanhar, de maneira conjunta, a auditoria do sistema refrigeração local, a fim de garantir as mínimas condições de conforto e qualidade do ar ambiente.

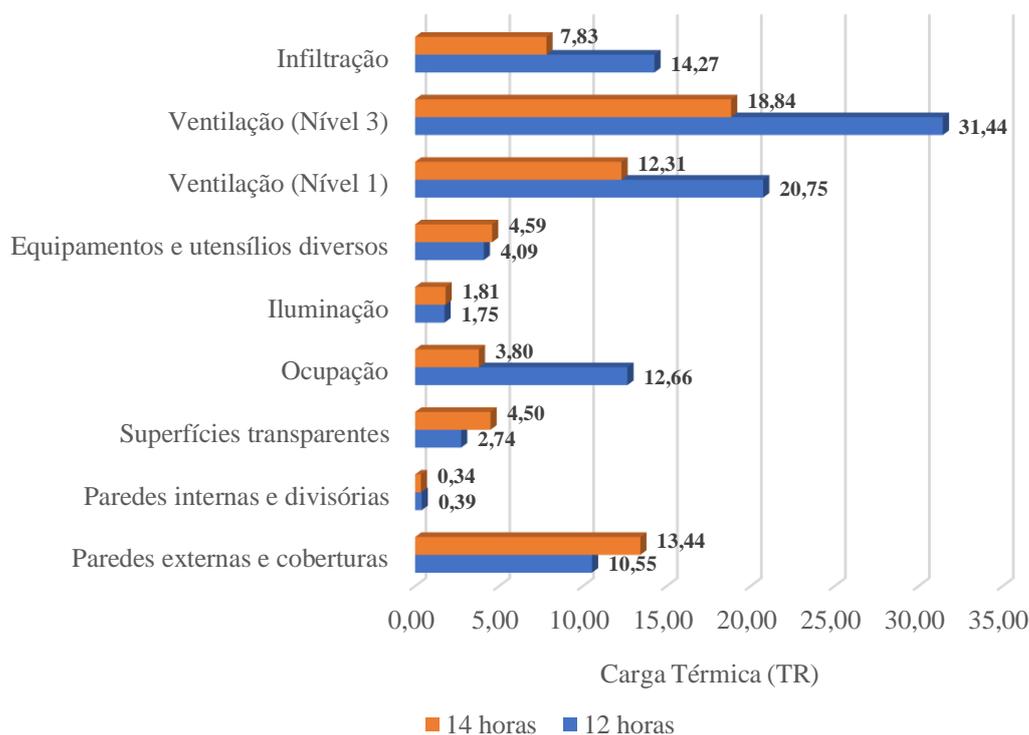


Figura 4. Carga térmica específica do ambiente

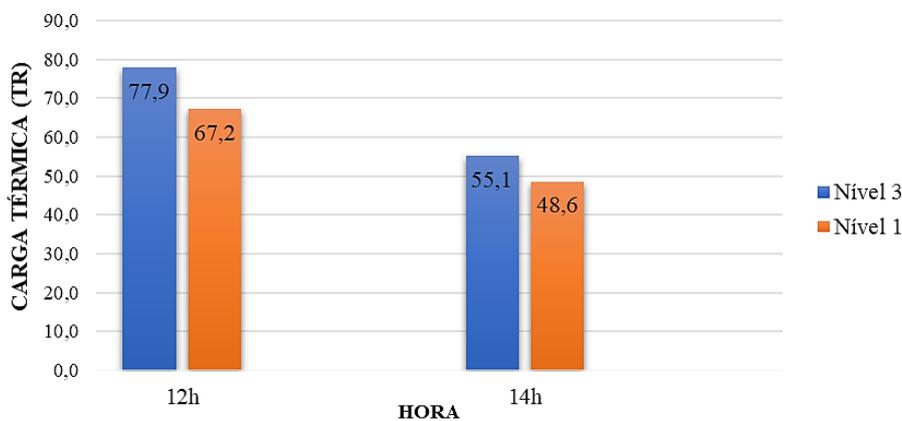


Figura 5. Carga térmica total necessária para atender as condições internas do ambiente

### 3.1. Seleção dos equipamentos de refrigeração

Mediante o diagnóstico, realizado com base nos resultados da Fig. 5, tem-se que o sistema atual não supre a capacidade térmica requerida pelo ambiente. Portanto, define-se o sistema de refrigeração mais adequado para suprir as necessidades do local. Os equipamentos deverão suprir o horário com maior carga térmica exigida, 12 horas, considerando o nível de ventilação adotado pelo ambiente. Neste trabalho, considera-se o nível três como o mais adequado para o local, em virtude das evidências de redução de reclamações e manifestações alérgicas nos ocupantes.

A carga térmica resultante de 77,9 TR pode ser obtida a partir dos equipamentos instalados no ambiente e, da aquisição de um novo equipamento com capacidade de refrigeração de 30 TR. Para suprir a demanda, recomenda-se a aquisição de um Splitão de 30 TR, visto que o sistema de distribuição de ar por dutos e a casa de máquinas poderão ser reaproveitados. A Tabela 4 contém os dados dos equipamentos de refrigeração para o local de estudo, além do consumo energético para um funcionamento de 12 horas por dia.

Tabela 4. Especificação dos equipamentos de refrigeração local

<b>Sistema de Refrigeração</b>						
<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Carga (TR)</b>	<b>Potência de Refrigeração (W)</b>	<b>Consumo Mensal (kWh/mês)</b>	<b>Consumo Anual (kWh/ano)</b>
Carrier	Split Piso Teto	1	4	4680	1684,80	20217,60
Carrier	Split Piso Teto	1	5	6065	2183,40	26200,80
Hitachi	Splitão	1	40	40220	14479,20	173750,40
<b>Carrier</b>	<b>Splitão</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>29270</b>	<b>10537,20</b>	<b>126446,40</b>
<b>Utilização (h)</b>		12		80235	28884,60	346615,20

### 3.2. Seleção dos componentes do sistema fotovoltaico

Por meio de simulações no programa *PVsyst 7.0*, determina-se, na Tab. 5, os sistemas e quantidades ideais de módulos e inversores para o fornecimento de energia elétrica.

Tabela 5. Especificação dos componentes do sistema fotovoltaico

<b>Sistema Fotovoltaico</b>			
<b>Módulo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Nominal (unitária)</b>
<i>Canadian Solar Inc.</i>	CS-3W-450-MS	396	450 Wp
<b>Módulo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Nominal (unitária)</b>
ABB	PRO-33.0-TL-OUTD-400	5	33 kW

Além da seleção de componentes ideais para geração de energia elétrica, o *software PVsyst* disponibiliza a média anual de produção de energia elétrica dos módulos fotovoltaicos, o fator de desempenho médio e as perdas associadas ao sistema, como mostra a Tab. 6.

Tabela 6. Produção energética fornecida pelos módulos fotovoltaicos

<b>Principais Resultados</b>	
Produção do sistema	271 MWh/ano
Produção específica	1521 kWh/kWp/ano
Índice de performance	0,83
Produção normalizada	4,17 kWh/kWp/dia
Perdas do grupo	0,75 kWh/kWp/dia
Perdas do sistema	0,10 kWh/kWp/dia

A análise dos resultados indica que, para as condições especificadas na Tab. 6, o sistema proposto é capaz de suprir 78% do consumo anual de energia elétrica do sistema de refrigeração do ambiente. A Figura 6 contém a relação entre a demanda energética do consumidor e a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico.

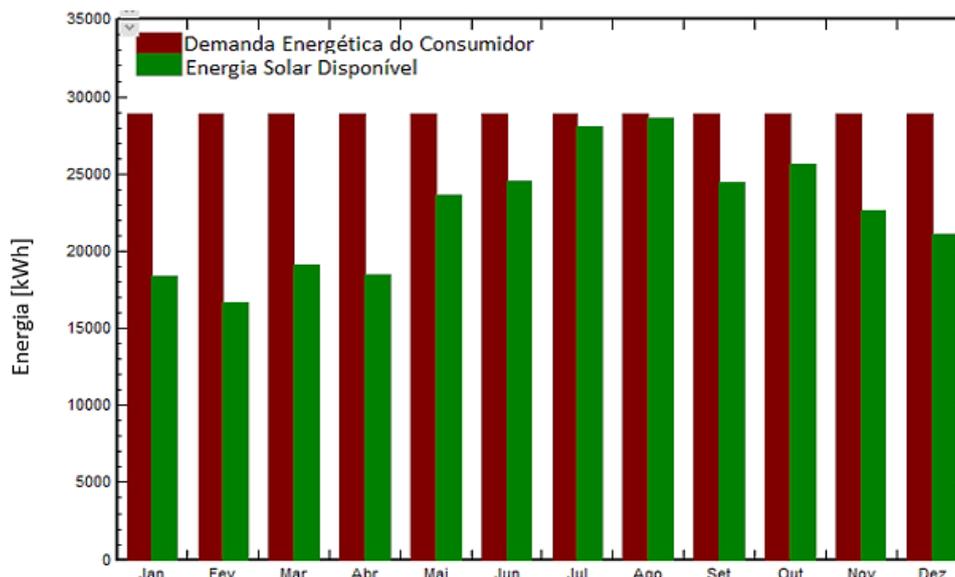


Figura 6. Estimativa da produção energética mensal

### 3.3. Viabilidade econômica do projeto

Conforme a Greener (2020), houve um aumento nos preços para o cliente final, com variações significativas para potências mais altas. O preço final para o cliente é composto pelo custo de equipamentos e serviços. Os equipamentos são comercializados por meio de kits fotovoltaicos, compostos por módulos fotovoltaicos, inversores, sistemas de proteção, estrutura e cabeamento. Os custos com serviços de integração estão relacionados com o estudo de engenharia, instalação, projeto, conexão à rede e impostos. A Tabela 7 contém os preços médios de equipamento e componentes, com potência global próxima a 150 kWp, do mercado nacional.

Tabela 7. Custos com aquisição do sistema solar fotovoltaico

Materiais e Serviços	Preço unitário	Potência global	Investimento
Kit fotovoltaico	R\$ 2,28/Wp	178 kWp	<b>R\$ 633.680,00</b>
Serviços de integração	R\$ 1,28/Wp		

A aquisição do sistema de refrigeração baseou-se nos valores médios de mercado, com custos disponibilizados pela Dufrio (2020). Considera-se, para a instalação do equipamento de refrigeração, o valor médio de 50% do custo de aquisição do aparelho. A Tabela 8 contém os custos com o sistema de refrigeração do projeto.

Tabela 8. Custos com aquisição do equipamento de refrigeração

Equipamento	Preço unitário	Quantidade	Custos
Splitão 30 TR (Carrier)	R\$ 51.319,00	1	R\$ 51.319,00
Instalação, acessórios e suportes			R\$ 25.659,50
<b> Investimento </b>		<b> R\$ 76.978,50 </b>	

Assim, o investimento inicial do projeto é de R\$ 710.658,50, no qual, aproximadamente, 89% do valor total se deve ao sistema solar fotovoltaico.

Dessa forma, com o auxílio da planilha de cálculo do *Excel*<sup>®</sup>, disponibilizada pela Fotaic Energia Solar, determina-se o *payback*, VPL e a TIR da oportunidade de investimento. O estudo considera uma tarifa energética de R\$ 0,70321, o aumento percentual anual da tarifa energética de 8% e a redução média de 0,7% na produção energética anual de um sistema fotovoltaico. Ademais, considerou-se uma taxa de desconto, ou custo de oportunidade, de 10%, em meio a uma inflação anual brasileira estimada em 5% e. A inflação foi determinada por meio da média percentual histórica dos anos de 2014 a 2020, fornecida pelo Banco Central do Brasil (2020).

Após definição das variáveis de análise e das condições iniciais para a oportunidade de investimento, determina-se os resultados da aplicação. Diante dos resultados apresentados na Tab. 9, o estudo de caso é considerado viável

economicamente, contendo um valor presente líquido de R\$ 2.290.642,89. Além do VPL aceitável, o projeto apresenta, também, uma TIR de 49,39%, superior ao custo de capital definido.

Tabela 9. Resultados econômicos para 20 anos de projeto

Valor Presente Líquido (VPL)	<b>R\$ 2.290.642,89</b>	
Taxa Interna de Retorno (TIR)	<b>49,39%</b>	
Payback	Anos	Meses
	<b>3</b>	<b>3</b>

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, identificou-se pontos de melhorias no sistema de refrigeração do ambiente e propõe-se uma fonte de energia sustentável capaz de minimizar os custos com energia elétrica do restaurante. Na atual conjectura, o sistema de climatização do refeitório é incapaz de proporcionar o conforto térmico adequado, ocasionando inquietação e insatisfação por parte dos funcionários. A partir dos cálculos de carga térmica e, considerando um sistema de ventilação adequado ao local, identificou-se uma diferença significativa de aproximadamente 29 TR.

A seleção de uma matriz energética sustentável foi pautada nos valores da empresa e no potencial energético da região. Devido ao consumo acentuado de energia e da possibilidade de esgotamento dos recursos naturais, a energia solar fotovoltaica é considerada uma alternativa promissora para o território brasileiro. O sistema de condicionamento de ar do refeitório é responsável por grande parte da demanda energética do edifício. O sistema fotovoltaico dimensionado é capaz de suprir 78% dessa demanda, com a produção energética próxima a demanda requerida em alguns meses.

Sob o ponto de vista econômico, o valor estimado do investimento inicial para a aquisição dos equipamentos, componentes e serviços foi de R\$ 710.658,50. Utilizando o método de *payback* simples, a oportunidade de investimento é atrativa, com período de 3,25 anos para retorno dos investimentos. Considerando as técnicas sofisticadas de orçamento de capital, o projeto é considerado economicamente viável, apresentando um VPL de R\$ 2.290.642,89 e uma TIR de 49,39%. Apesar dos impactos ocasionados pela pandemia do COVID-19, o aumento nos preços, em junho/2020, foi inferior à elevação do câmbio, o que torna essa alternativa bastante atrativa.

#### 4. REFERÊNCIAS

- ABNT, 2008. *NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projetos das instalações*. 1ª edição. Rio de Janeiro.
- ABNT, 2008. *NBR 16401-3: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 3: Qualidade do ar interior*. 1ª edição. Rio de Janeiro.
- ANEEL, 2015. “Geração distribuída”. 28 set. 2020 <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020. “Histórico de metas para a inflação do Brasil” 28 set. 2020 <<https://www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf>>.
- Dufrio, 2020. “Ar condicionado Splitão fixo Carrier 30 TR”. 28 set. 2020 <<https://www.dufrio.com.br/ar-condicionado-splitao-fixo-30-tr-vertical-carrier-eco-standart-220v-3.html>>.
- EPE, 2019. “Balanço Energético Nacional 2019”. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia.
- Greener, 2018. “Estudo estratégico: Mercado fotovoltaico de geração distribuída”. 22 set. 2020 <<https://greener.com.br/wp-content/uploads/2018/01/estudo-estrategico-gerao-distribuda-1-semester-2018-brasil-greener.pdf>>.
- Greener, 2020. “Estudo estratégico geração distribuída: Mercado fotovoltaico”. 27 set. 2020 <<https://www.greener.com.br/pesquisas-de-mercado/estudo-estrategico-mercado-fotovoltaico-de-geracao-distribuida-1-semester-de-2020/>>.
- Gitman, L J., 2004. *Princípios de administração financeira*. 10ª edição. São Paulo.
- INPE, 2017. “Atlas Brasileiro de Energia Solar”. 2ª edição. São José dos Campos.
- Machado, J. R., 2004. *Administração de finanças empresariais*. 2. ed. Rio de Janeiro.
- Martins, S.T.A.A, 2020. *Análise de um Sistema solar fotovoltaico aplicado à refrigeração de um restaurante industrial*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Martins, P. C., 2004. *Estudo do sistema de refrigeração por compressão a vapor utilizando energia solar como fonte geradora*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Silva, A. C. M., 2020. “Maquete e render de um refeitório industrial de Barcarena”.
- Souza, R. d., 2014. *Os sistemas de energia solar fotovoltaica: Livro digital de introdução aos sistemas solares*. Ribeirão Preto.
- Villalva, M. G. e Gazoli, J. R., 2012. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. São Paulo.

## **5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.