

Analysis of energy efficiency of air conditioning systems for Industrial Processes.

João Koyty Oji Wada¹, Jorge Laureano Moya Rodríguez^{1,2}, Jandecy Cabral Leite^{1,2}, Tirso Lorenzo Reyes Carvajal^{1,2}

¹ Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Processos (Ppgep-Itec-Ufpa) Do Instituto De Tecnologia Da Universidade Federal Do Pará (Ppgep-Itec-Ufpa).

² Instituto De Tecnologia E Educação Galileo Da Amazônia (Itegam)

ABSTRACT :The paper presents an analysis of energy efficiency in air conditioning systems in an industry of the Industrial Polo of Manaus (PIM). The air conditioning in the company is one of the responsible for the high consumption of electricity. The air conditioning within the company is fundamental and aims to control the temperature of a product, substance, environment or medium in production systems. Article's goal is to analyze the air conditioning system compared with direct expansion equipment (air) and indirect expansion condensation (water) to reduce consumption of electricity. The materials and methods used allowed the analysis of data of energy consumption and operating costs of the chillers screw and centrifugal. The results obtained were satisfactory according to the analysis of costs for both the old and current facilities, existing at the factory. According to these results the best option is the use of centrifugal Chillers because the payback time is lesser, also allows the reduction in 40% of the electricity costs

KEYWORDS -Air conditioning system, energy efficiency, Screw Chiller, Centrifugal Chiller.

I. INTRODUÇÃO.

Os projetos de eficiência energética em refrigeração industrial são difíceis de enfrentar devido à sua configuração dinâmica, operações complexas e múltiplas interações do sistema. Os principais componentes que compõem os sistemas de refrigeração industrial são compressores, evaporadores, condensadores e controles. [1]. Esses componentes têm parâmetros de entrada únicos, tais como pressão de sucção, pressão de descarga e demanda de refrigeração, impulsionados por uma variável externa altamente inconsistente: o tempo. Para alcançar as melhores eficiências operacionais, é importante que os gestores de instalações entendam esses componentes e seu impacto sobre o sistema como um todo. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso que destaca as melhores práticas da indústria e seu impacto sobre a eficiência energética, bem como para identificar as áreas potenciais de melhoria e os desafios.

A apresentação deste estudo de caso destina-se a fornecer informações importantes para os gestores de instalações que considerem projetos futuros. As soluções para enfrentar este desafio, e outros, são ilustradas por meio de discussões do estudo de caso referenciado. Os autores fornecem recomendações de melhores práticas da indústria que podem ser aplicadas a futuras revisões técnicas dos projetos de refrigeração industrial. Além disso, os resultados são extrapolados para outros segmentos de tecnologia e de mercado. Recomendações deste documento são destinados a conduzir reduzida intensidade de uso de energia e melhorar a produtividade operacional

Entre os principais sistemas de refrigeração estão os sistemas por compressão de vapor com suas variantes e por absorção. Os sistemas por compressão de vapor são predominantes, especialmente nas instalações industriais para processamento e armazenagem de alimentos e em equipamentos de pequeno porte, como refrigeradores e condicionadores de ar compactos. O ciclo de refrigeração tem como finalidade atingir as temperaturas necessárias ao processamento e armazenagem dos produtos. Os requisitos de temperatura e pressão ideais de operação do ciclo de refrigeração são determinados pelo conhecimento das características do produto e do processo, bem como do ciclo e seus componentes [2].

A refrigeração industrial apresenta uma série de similaridades com o condicionamento de ar, mas também se distingue por diversos aspectos como componentes, procedimentos de projetos e mercadológicos. Ela pode ser caracterizada pela faixa de temperatura de operação, no limite inferior as temperaturas podem atingir valores entre -60°C a -70°C e 15°C no limite superior. Aplicações em que se verifiquem temperaturas menores do que as citadas pertencem ao ramo da criogenia, ao qual se especializa na produção e utilização de gás natural liquefeito, oxigênio e nitrogênio líquidos. Outra forma de se caracterizar a refrigeração industrial seria através das aplicações, assim poderia ser descrita como sendo o processo utilizado nas indústrias químicas, de alimentos e de processos (envolvendo dois terços das aplicações), indústrias manufatureiras e de laboratórios. Um estudo realizado no Lawrence Berkeley National Laboratório [3] permitiu avaliar o desempenho de um

chiller de 228 toneladas em sua gama típica de carga ao longo de um período de 18 meses. A parcela do consumo de eletricidade a carga parcial em kW/TR é menos eficiente que um chiller totalmente carregado. Adicionando um novo chiller de 100 ton como uma atualização do sistema iria melhorar drasticamente o desempenho durante o tempo (cerca de metade do ano) quando os chillers estão principalmente descarregados.

Os potenciais das economias de energia para sistemas de resfriamento de água gelada são muitas vezes esquecidos. Uma revisão detalhada do sistema de resfriamento, juntamente com a apropriada medições de temperatura e vazão irá ajuda a identificar maneiras de ganhar dinheiro com essas economias [4].

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os países desenvolvidos e em desenvolvimento em todo o mundo utilizam grandes sistemas de refrigeração comercial e industrial. A aplicação destes sistemas inclui a conservação de alimentos, armazenamento de frio e remoção de calor a partir de aplicações de processos industriais.

Os chillers refrigerado a ar têm sido amplamente instalados em edifícios comerciais, locais para fornecer refrigeração do ambiente e desumidificação. As operações de plantas de chillers tem um impacto significativo no consumo de eletricidade e demanda máxima de energia. [5]. O coeficiente de performance (COP) deve ser superior a 2.7, valor de operação considerada dentro dos padrões de eficiência energética [6].

A pobre eficiência dos chillers geralmente está associada com equipamentos sobre dimensionados, não correspondência de funcionamento do chiller com a demanda de carga de refrigeração, os chillers geralmente trabalha em uma alta temperatura de condensação com base na condição externa que determinam a pressão de condensação. [5][7]. Há um grande número de possibilidades para diminuir a temperatura de condensação e, assim, melhorar a eficiência dos chillers [8, 9].

Um estudo experimental desenvolvido por [8] sobre a redução da elevação da pressão do condensador para um chiller alternativo avaliado com capacidade de refrigeração 35 kW ilustrou que uma redução de 10% no consumo total de chiller foi alcançado fazendo trabalhar ao ventilador do condensador mais quando a temperatura exterior foi inferior a 25°C.

O dilema e entre o aumento da potência do ventilador do condensador e a diminuição da potência do compressor, e a economia de energia de longo prazo. Diminuindo a temperatura de condensação com base nas condições meteorológicas e condições de carga não foi avaliado. Muitos modelos de simulação para sistemas de refrigeração foram documentados. [10-12].

Tem alguns modelos desenvolvidos para chiller de refrigeração a ar: entre eles tem um modelo para chiller desenvolvido por [13] para a análise de consumo de energia por hora utilizando um conceito de "caixa preta". Tal conceito relaciona diretamente os parâmetros de entrada e saída do chiller por um conjunto de equações empíricas, sem considerar o balanço operacional entre os componentes do evaporador, compressor e condensador. Além disso, um estudo de otimização não pode ser levado a cabo utilizando os modelos de "caixa preta", devido a que as variáveis controláveis e controladas estão ausentes.

A refrigeração comercial centralizada está se tornando um sector onde várias opções técnicas são competitivas. Estas opções são avaliadas com base em três principais critérios: consumo de energia, emissões provocadas pelos refrigerantes usados e custo inicial. Em supermercados com salas de máquinas, a competição é forte entre os velhos sistemas centralizados diretos e os novos sistemas que utilizam fluidos de transferência de calor. Para alcançar comparações equilibradas entre a eficiência energética destas técnicas competitivas, as medições de sistemas de expansão direta e de sistemas utilizando fluidos de transferência de calor monofásica tem que ser realizados. [14].

O COP de cada sistema tem que ser avaliado. Os fluidos de CO2 oferecem possibilidades de utilizar condensação flutuante até uma temperatura exterior baixa e, devido à diferença de pressão grande através da válvula de expansão, ele deve ainda oferecer possibilidades de melhorias. [15]

III. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 O Ciclo Real de Refrigeração por Compressão de Vapor

O Ciclo Real de Refrigeração por Compressão de Vapor difere do ciclo teórico simples nos seguintes aspectos: a perda de carga nas linhas de descarga de líquido e de sucção, assim como no condensador e no evaporador. Estas perdas de carga ΔP_d e ΔP_s estão mostradas na Figura 1. [16, 17]

O balanço de energia do ciclo de refrigeração é feito considerando-se que o sistema opera em regime permanente nas condições de projeto, ou seja, à temperatura de condensação, TC, e temperatura de vaporização, TV. Os sistemas real e teórico têm comportamento idêntico, tendo o ciclo real apenas um desempenho pior.

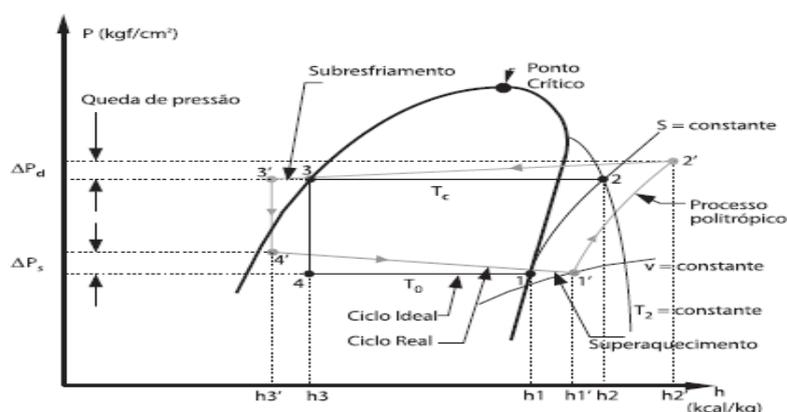


Figura 1 - Diferenças entre o ciclo real e o teórico simples.

Fonte: [17]

A Capacidade frigorífica do ciclo (Q_a), se traduz na capacidade de refrigeração que é a quantidade de calor, por unidade de tempo, retirada do meio que se quer resfriar (produto), através do evaporador do sistema de refrigeração. Este processo está indicado na equação (1). Para o sistema operando em regime permanente, desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, tem-se, pela Primeira Lei da Termodinâmica:

$$Q_a = m_f(h_1 - h_4) \quad (1)$$

Embora o COP do ciclo real seja sempre menor que o do ciclo teórico, pode-se, com o ciclo teórico, verificar quais parâmetros influenciam no rendimento do sistema, assim como o grau de influência de cada um destes parâmetros. O COP é dado pela equação (2):

$$COP = \frac{\text{Energia Util}}{\text{Energia Consumida}} = \frac{Q_a}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

Pode-se inferir da equação (2) que, para ciclo teórico, o COP é função somente das propriedades do refrigerante, conseqüentemente, das temperaturas de condensação e vaporização. Para o ciclo real, entretanto, o desempenho dependerá muito das propriedades na sucção do compressor, do próprio compressor e dos demais equipamentos do sistema.

Outra forma de indicar a eficiência de uma máquina frigorífica é a Razão de Eficiência Energética (EER), do inglês "Energy Efficiency Rate"[18, 19] O EER é expresso em Btu/W.h, representando a relação entre a capacidade frigorífica e a quantidade de trabalho consumido, sendo dado por (3):

$$EER = \frac{Q_a \left[\frac{\text{Btu/h}}{\text{Watts}} \right]}{W_c} \quad (3)$$

Uma forma bastante usual de indicar a eficiência de um equipamento frigorífico é relacionar o seu consumo, em kW, com a capacidade frigorífica, em TR, o que resulta em (4):

$$kW/TR = \frac{W_c \left[\frac{\text{kW}}{\text{TR}} \right]}{Q_a} \quad (4)$$

3.2 Eficiência energética aplicada em sistemas de climatização

Estimar o custo do chiller é simples porque estes equipamentos são normalmente comprados a partir de um catálogo e não *por encomenda*. Embora o custo real do sistema chiller por tonelada irá depender do tamanho e capacidade, que é tipicamente cerca de US\$450 por tonelada para todo o sistema de refrigeração [20, 21], enquanto o custo do próprio chiller é de cerca de US\$250/ton [22, 23].

A melhoria de desempenho a ser adquirida por um novo refrigerante deve também ser determinada. Um melhoramento de 0,4 kW/tonelada de refrigeração é uma estimativa razoável.

Existe hoje uma enorme quantidade de calor excedente dentro das indústrias. Em muitos casos, o excedente de calor não está utilizado como deveria ser. Esta situação não é boa, pois o setor industrial responde por mais de 30% do consumo total de energia final no mundo [24][25, 26]. Também isso deve ser visto em conexão com o fato de que a oferta total de energia primária é altamente dominada por combustíveis fósseis. Assim, utilizando excedente de calor é uma medida essencial para alcançar a sustentabilidade energética global em uma comunidade ou região. Por exemplo, um estudo baseado em auditorias energéticas mostrou que mais do que 500GWh /ano de energia térmica de diferentes qualidades é desperdiçado em numa usina de polpa e papel [27].

A gestão energética incorpora engenharia, design, aplicações, utilização e, até certa medida a operação e manutenção de sistemas elétricos de potência em plantas industriais com o objetivo da utilização óptima da energia [28]. O passo mais importante no processo de gestão de energia é a identificação e análise de oportunidades de conservação de energia, tornando-se, assim, o foco a monitorar, registrar, analisar, examinar criticamente a través de sistemas de controle de fluxos de modo que a energia é utilizada com a máxima eficiência [29].

3.3 Perfil da empresa

A presente pesquisa se deu numa fábrica localizada no PIM desde 04 de novembro de 1976, sendo esta do ramo de atividade do setor automotivo do polo de duas rodas líder de mercado sendo Market Share de 80%, ou seja, só 20% são divididos em outras empresas do mesmo segmento de mercado no Brasil. Suas atividades contemplam um processo de montagem e fabricação dos componentes ligados à produção de motocicletas de vários modelos desenvolvidos com eficiência e resultados de competitividade para alcançar a liderança do mercado do setor de duas rodas no Brasil e sendo exportados alguns modelos de motocicletas para América Latina, Rússia e parte Europa. Os processos modernos de desenvolvimento do processo de manufatura alcançaram um nível de excelência, no qual foi criado o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia (CDT) onde são desenvolvidos todos os modelos fabricados em Manaus. É a maior fábrica de motocicletas do mundo. É importante informar que em Manaus existem 14 fábricas do polo duas rodas, das 17 existentes no Brasil.

3.4 Dados da empresa para aplicação do estudo de caso

3.4.1 Cenário das cargas de climatização no processo

Foram levantados os dados de capacidade de climatização em todos os galpões onde existem processos produtivos. Os galpões estão divididos em dois tipos de climatização, uma em expansão direta e a outra indireta. A expansão direta apresenta 1475TR e a indireta 3225TR, somando um total de 4700TR. As necessidades de climatização representam uma carga de 1940 TR (tonelada de refrigeração), como mostra a figura 2.

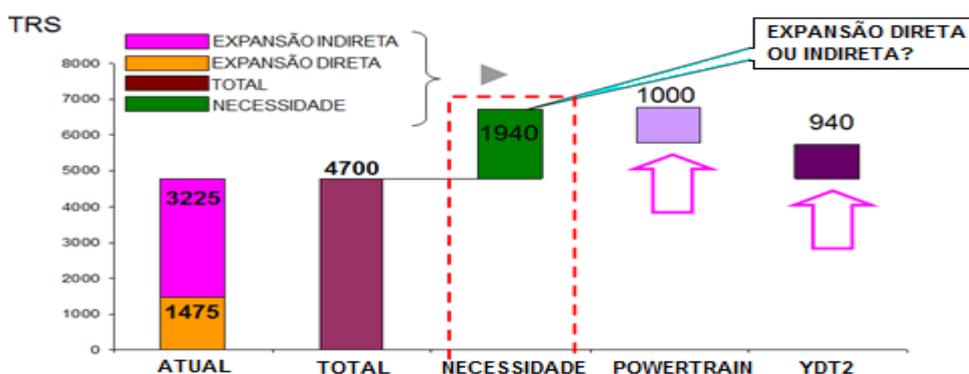


Figura 2 – Levantamento das cargas térmicas da fábrica.

Fonte: Autores

Foram levantados os dados para determinar os custos operacionais do ano, a plena carga no processo de fabricação das motocicletas em todos os setores da empresa.

A Tabela 1 apresenta os dados comparativos do processo de climatização com expansão direta e indireta, em termos de custos operacionais e de consumo de energia por ano. Observa-se que a expansão direta e indireta representa respectivamente 61,9% e 38,1% do custo operacional total, sendo óbvio que o sistema de expansão direta não é viável para a empresa.

Tabela 1 – Custos Operacionais considerando plena carga.

Sistema	Expansão Direta	Expansão Indireta
Custo Operacional/Ano	R\$ 6.387.541,80	R\$ 3.930.355,80
Consumo de Energia Elétrica/Ano - KWh	21.291.806	14.101.186

Fonte: Autores

A ideia que gradativamente sejam substituídos os locais que tenham expansão direta pela indireta. A climatização é o segundo maior responsável pelos custos operacionais na empresa. O sistema de climatização na empresa está composto de chillers parafuso. Para manter os chillers parafuso em funcionamento teria um custo mensal elevado, porém o consumo de energia continuaria sendo alto. A partir das causas que levaram ao aumento dos consumos conclui-se que é economicamente e energeticamente viável a substituição do chiller parafuso pôr chiller centrífugo. Com esta substituição a redução no consumo ficaria em torno de 30% menor do que os atuais.

As eficiências dos chillers parafuso, a carga total estão abaixo dos chillers centrífugos, sua eficiência só e comparável aos chillers centrífugos para a carga parcial para condições técnicas iguais. Os compressores centrífugos operando a plena capacidade, estes são mais eficiente do que os compressores parafuso [30]

3.4.2 Estimativa - central de água gelada (CAG) unificada (Power-Train+YDT2)

Foram levantados todos os investimentos necessários para a instalação do chiller centrífugo de 2000TR e 1000TR, visando todos os custos operacionais anuais e observando o prazo de retorno do investimento aplicado. Após a avaliação de todas as variáveis observáveis, o melhor a ser instalado é o chiller de capacidade de 1000TR, pois seus custos são menores, tendo como diferença o valor de R\$ 717.742, 00. A **tabela 2** apresenta os dados descritos acima.

Tabela 2 – Proposta de sistema de água gelada YDT2 e Power-train (Usinagem)

LOCAL	INVESTIMENTO INICIAL	PRAZO DE EXECUÇÃO	CUSTO OPERACIONAL ANUAL	PAYBACK
Central de água gelada unificada de 2000TR's	R\$ 11.417.742,00	150 dias	Em análise	1,4 anos
Central de água gelada de 1000TR's para a usinagem	R\$ 5.100.000,00	150 dias	R\$ 1.476.459,00	1,4 anos
Central de água gelada de 1000TR's para HDA2	R\$ 5.600.000,00	150 dias	R\$ 1.476.459,00	1,4 anos
Diferença	R\$ 717.742, 00			

Fonte: Autores

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comparação do processo produtivo da eficiência energética por meio de equipamento de expansão direta (ar) e expansão indireta condensação (água)

As premissas para elaborar quadro comparativo de sistemas de expansão direta/indireta elucida a demanda de ar condicionado para nova Central de Agua gelada (CAG) em TR's nos valores de 1000TR's, sendo que a tarifa e energia elétrica (base 2014) é apresentada na tabela 3.

Tabela 3. Consumos e demandas

Medidas	Valores
Demanda de ar condicionado para nova CAG em TR's	1000
Tarifa de Energia Elétrica (Base 2014)	
Consumo Ponta (R\$/kWh)	0,42
Consumo Fora Ponta(R\$/kWh)	0,30
Demanda Ponta (R\$/kWh)	17,24
Demanda Fora Ponta (R\$/kWh)	4,72
Consumo de Gás (R\$/m ³) – GN – Referência Estado do AM	1,16
Custo com água (R\$/m ³)	0,19

Fonte:

Autores

Para a análise comparativa de despesas com energia elétrica, entende-se por custos a base de cálculo versus premissas da máquina de 800TR's. A **tabela 4** apresenta todos os detalhes especificados no processo fabril.

Tabela 4 – Base de Cálculo/Premissas.

Maquina – 800TR's		
1) Carga Térmica	Ponta	Fora de Ponta
Carga térmica Máxima (TR)	800	800
Número de Horas (H)	3	21
Fator de Carga	75%	70%
Número de dias por ano	249	249
Consumo Anual de Ar Condicionado (TRh)	448.200	2.928.240
2) Especificações Elétricas	Ponta	Fora de Ponta
Chiller à Ar	1,28	kW/TR
Chiller à Água	0,93	kW/TR
Self à Água	1,14	kW/TR

Self a Ar	1,4	kW/TR
3) Consumos Elétricos Anuais	Ponta	Fora de Ponta
Chiller à Ar	575.765	3.761.662
Chiller à Água	416.548	2.721.449
Self à Água (Self-contained)	511.604	3.342.480
Self a Ar (Self-contained)	627.480	4.099.536

Fonte: Autores

Já as premissas de custo com energia elétrica apresentada na **tabela 5** das tarifas *versus* valores determinam analisar os dados estipulados pela concessionária de energia elétrica (Concessionária Eletrobrás Amazonas Energia) de acordo com as tarifas do setor elétrico vigente.

Tabela 5 – Tarifas & Valores

Tarifas	Valores
Energia Tarifa Verde A4-2,3 a 25kV (Base Julho 2015)	
Consumo na Ponta (R\$/kWh)	0,42
Consumo Fora de Ponta(R\$/kWh)	0,24
Demanda Ponta (R\$/kWh)	17,24
Demanda Fora Ponta (R\$/kWh)	4,72
Consumo de Gás (R\$/m ³) - Para AC a gás acima de 10.000m ³ /mês	1,16
Consumo de Gás (R\$/m ³) - Para AC a gás a baixo de 10.000m ³ /mês	4,70
Consumo Água (R\$/m ³) – Poço Artesiano	0,19

Fonte: Autores

Das premissas de custo com energia elétrica retrata os resultados do produto dos dados encontrados entre as **tabelas 4 e 5** respectivamente, sendo analisados os custos operacionais dos sistemas de climatização tendo como comparativo a expansão direta e indireta, como são apresentados na **tabela 6**.

A análise de custos das operações das tecnologias apresentadas mostra que em 2014 o quanto é importante comparar os vários sistemas de climatização. Esta análise da tabela 6 verificou-se que os equipamentos instalados houve uma evolução em suas características em relação ao consumo de energia elétrica.

No decorrer dos anos, a empresa estudada mostra justamente as variáveis de consumo de energia elétrica de um sistema climatização ultrapassado ou obsoleto, no qual o mercado vem oferecendo equipamentos mais eficientes com tecnologias inovadoras para aprimorar os novos conceitos de eficiência energética.

Em um mesmo consumo de energia elétrica, nota-se que sistema de climatização que utiliza expansão indireta são bem mais eficientes, pois utiliza-se de um sistema de água gelada para alimentar os seus processos dentro dos galpões.

A tabela 6 apresenta um sistema de comparação do sistema de climatização que são utilizadas na unidade fabril com os valores tarifários definidos pela concessionária de energia elétrica versus o consumo anual de demanda, há uma grande diferença de uma tecnologia para outra. A matriz mostra uma forma de avaliação para que se busque a tomada de decisão em relação ao consumo de energia elétrica versus a capacidade de carga térmica.

Tabela 6 - Custos Operacionais

Custos Operacionais					
Sistema de Climatização - Comparação					
		Chiller Parafuso à Ar Expansão Direta	Chiller centrífugo a água Expansão Indireta	Self à Água Expansão Indireta	Self a Ar Expansão Direta
1) Eletricidade – Ar Condicionado					
Consumo Anual de Ponta	KWh/ano	575.765	416.548	511.604	627.480
Custo do Consumo de Ponta	R\$/ano	241.821,14	174.950,27	214.873,69	263.541,60
Consumo Anual Fora de Ponta	KWh/ano	3.761.662	2.721.449	3.342.480	4.099.536
Custo Consumo Fora de Ponta	R\$/ano	902.798,92	653.147,69	802.195,10	983.888,64
Demanda de Ponta	KW	1.028	744	913	1.120
Custo da Demanda de Ponta	R\$/ano	17.717,42	12.818,01	15.743,07	19.308,80
Demanda Fora de Ponta	KW	1.028	744	913	1.120

Custo de Demanda Fora de Ponta	R\$/ano	4.850,71	3.509,34	4.310,17	5.286,40
Conta Anual de Eletricidade - Ar Condicionado	R\$/ano	1.167.188,18	844.425,31	1.037.122,02	1.272.025,44
2) Água					
Conta Anual de Água	R\$/ano	0	3849,14	4.234,06	0
3) Conta Anual de Tratamento de Água	R\$/ano	0	48.000,00	48.000,00	0
4) Conta Anual de Operação	R\$/ano	66.000,00	72.000,00	120.000,00	54.000,00
5) Conta Total Anual	R\$/ano	1.233.188,18	968.274,45	1.209.356,08	1.326.025,44
Diferença de Conta Total Anual	R\$/TR	0,37	0,29	0,36	0,39
	R\$/ano	92.837,26	357.750,99	116.669,36	0,00

Fonte: Autores

V. CONCLUSÕES

Foram levantados nos últimos dois anos, todos os equipamentos de climatização da fábrica onde foi verificado o tempo de operação e depreciação no decorrer deste período, além dos pontos apresentados existem ampliações nos galpões e exigindo novas demandas de carga térmica para climatizar esses novos processos produtivos. Juntando essas necessidades, observou-se que para atender as novas demandas de carga térmica foram necessários realizar avaliações das novas tecnologias buscando assim, a melhor eficiência energética para novas instalações e substituição das antigas. Com as matrizes demonstradas de custo de energia e a demanda de carga térmica foram verificados os sistemas atuais e antigos que a fábrica possui. Ao final de todas as variáveis possíveis e principalmente o fator principal a conta de energia elétrica ser alta, pois em Manaus o custo é alto mesmo interligado com sistema nacional. Comparando os custos do estudo, a opção foi pelo chiller centrífugo, pois seu payback é rápido, ou seja, este investimento permitiu alcançar o objetivo da pesquisa que é reduzir o consumo de energia elétrica numa empresa de grande porte do setor automotivo o que representado 40% do custo total de energia elétrica da empresa.

REFERÊNCIAS

- [1] ASHRAE H. Fundamentals 2013. Atlanta, USA: ASHRAE 2013.
- [2] Tassini JO. Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial: estudo de caso. 2012.
- [3] Piette MA. Performance Assessment and Adoption Processes of an Information Monitoring and Diagnostic System Prototype. Lawrence Berkeley National Laboratory 1999.
- [4] Muller MR, Muller MB, Rao P. Optimize Energy Use in Industrial Cooling Systems. Chemical Engineering Progress 2013;109:18-23.
- [5] Chan K, Yu F. Part load efficiency of air-cooled multiple-chiller plants. Building Services Engineering Research and Technology 2002;23:31-41.
- [6] Lee W, Yik F, Jones P. A strategy for prioritising interactive measures for enhancing energy efficiency of air-conditioned buildings. Energy 2003;28:877-93.
- [7] Chan K, Chow W. Energy impact of commercial-building envelopes in the sub-tropical climate. Applied Energy 1998;60:21-39.
- [8] Smith M, King G. Energy-saving controls for air-cooled water chillers. Building Services Journal 1998;20:47-8.
- [9] Chua K, Chou S, Yang W, Yan J. Achieving better energy-efficient air conditioning—a review of technologies and strategies. Applied Energy 2013;104:87-104.
- [10] Florides G, Kalogirou S, Tassou S, Wrobel L. Modelling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus. Solar Energy 2002;72:43-51.
- [11] Lu L, Cai W, Xie L, Li S, Soh YC. HVAC system optimization—in-building section. Energy and Buildings 2005;37:11-22.
- [12] Vakiloraya V, Ha Q, Samali B. Energy-efficient HVAC systems: Simulation—empirical modelling and gradient optimization. Automation in Construction 2013;31:176-85.
- [13] Leverenz D, Bergan NE. Development and validation of a reciprocating chiller model for hourly energy analysis programs. ASHRAE Trans;(United States) 1983;1.
- [14] Clodic D, Pellec CL, Darbord I. Comparison of Energy Efficiencies of Commercial Refrigeration Direct and Indirect Systems. 1998.
- [15] Frelechox D. Field measurements and simulations of supermarkets with CO2 refrigeration systems. Unpublished MSc, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm 2009.
- [16] Sousa BFCR. Modelação de um sistema de refrigeração por absorção. 2011.
- [17] Corte E, Flores C, Jara N, Isaza C. Sistemas de refrigeración doméstica-Estado del arte de las mejoras en la eficiencia energética. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas 2014.
- [18] Kim H-g, Roberts M, Brucal A. Revisit Energy Efficiency Gap: Do Quantity and Price of Energy Efficient Appliances Respond to Changes in Energy Prices and Interest Rates? 2015.
- [19] Zhou N, Levine MD, Price L. Overview of current energy-efficiency policies in China. Energy policy 2010;38:6439-52.
- [20] Dincer I, Rosen MA. Energetic, environmental and economic aspects of thermal energy storage systems for cooling capacity. Applied Thermal Engineering 2001;21:1105-17.
- [21] Tozer R, James R. Thermoeconomic life-cycle costs of absorption chillers. Building Services Engineering Research and Technology 1997;18:149-55.
- [22] Lee W, Lee S. Developing a simplified model for evaluating chiller-system configurations. Applied energy 2007;84:290-306.
- [23] Fan B, Jin X, Du Z. Optimal control strategies for multi-chiller system based on probability density distribution of cooling load ratio. Energy and Buildings 2011;43:2813-21.

- [24] Gurney KR, Mendoza DL, Zhou Y, Fischer ML, Miller CC, Geethakumar S, et al. High resolution fossil fuel combustion CO₂ emission fluxes for the United States. *Environmental Science & Technology* 2009;43:5535-41.
- [25] Andres RJ, Boden TA, Bréon F-M, Ciais P, Davis S, Erickson D, et al. A synthesis of carbon dioxide emissions from fossil-fuel combustion. *Biogeosciences* 2012.
- [26] Heede R. Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010. *Climatic Change* 2014;122:229-41.
- [27] Klugman S, Karlsson M, Moshfegh B. A Scandinavian chemical wood pulp mill. Part 1. Energy audit aiming at efficiency measures. *Applied Energy* 2007;84:326-39.
- [28] Lee W-J, Kenarangui R. Energy management for motors, systems, and electrical equipment. *Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 2001 Conference Record Papers Presented at the 2001 Annual Meeting 2001 IEEE: IEEE; 2001.* p. 21-6.
- [29] Kini PG, Bansal RC. *Energy Efficiency in Industrial Utilities*: INTECH Open Access Publisher; 2011.
- [30] DA SILVA MN. *Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial*. PROCEL, Rio de Janeiro 2005.