



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos**

Polo: Novo Hamburgo

**ESTUDO DE UM TROCADOR DE CALOR GEOTÉRMICO PARA
ÁGUA DE CONDENSAÇÃO DE UM SISTEMA DE AR
CONDICIONADO CENTRAL, NAS CONDIÇÕES DE SOLO DE SANTA
MARIA, RS**

PIRES, Jairo Afonso Freitas¹

MICHELS, Ademar²

¹ Engenheiro Mecânico. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

² Doutor -Engenharia Mecânica. Professor Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

RESUMO

As edificações comerciais estão cada vez mais dependentes de sistemas de ar condicionado, que passam a impactar no custo de energia delas. Os sistemas de condensação à água são mais eficientes energeticamente que os sistemas de condensação a ar, contudo demandam procedimentos de manutenção mais rigorosos e suas torres de resfriamento apresentam perdas de água pela evaporação. A utilização de condensadores geotérmicos evitaria estes problemas e ainda trazem eficiência energética, pois com a temperatura de entrada da água nos condensadores mais baixa, ocorre menor consumo de energia pelos compressores. Os condensadores geotérmicos são bastante utilizados nos EUA, Europa e Ásia, inclusive com incentivos fiscais pela sua melhor eficiência energética. Naqueles locais existem máquinas de ar condicionado específicas para sistemas geotérmicos. A simulação do uso de sistema geotérmico em um prédio comercial na cidade de Santa Maria, com atualização de cálculo de carga térmica resulta em ganho de 31,73 % na capacidade instalada de climatizadores, em relação às máquinas existentes. A área de terreno não foi suficiente para utilização total de condensadores geotérmicos, assim para nova configuração foi selecionado trocador geotérmico de ciclo fechado, com tubos horizontais e ciclo aberto com tomada de água do lençol freático. Feita a comparação do sistema existente, com uso somente de torre de resfriamento, com configuração adequada à nova carga térmica e resultou em redução de 2,08% na capacidade disponível de condicionamento de ar e 4,15% na potência elétrica instalada. Os climatizadores operando com condensadores geotérmicos tem redução de 11,30% na corrente elétrica em relação aos condensadores à água de torre de resfriamento e 18,40% em relação aos condensadores à ar. Para a configuração com trocador geotérmico é possível eliminar a utilização de água tratada para reposição das perdas de água pela torre de resfriamento, pelo aproveitamento da água de lençol freático para tal, porém são necessárias acrescentar bombas para recalque de água daquele local e também para circulação de água pelo subsolo.

Palavras-chave: Geotérmica, Eficiência, Climatização.

ABSTRACT:

Commercial buildings are increasingly dependent on air conditioning systems, which impact on the cost of their energy. Condensation water systems are more energy

efficient than the air condensation systems, yet require more rigorous maintenance procedures and their cooling towers have water loss by evaporation. The utilization of geothermal capacitors will avoid these problems and brings energy efficiency, as the lower water temperature is the external heat exchanger, the lower is energy need by the compressors. Geothermal capacitors are widely used in the US, Europe and Asia, including tax incentives for its better energy efficiency. In those places there are specific air conditioning machines for geothermal systems. The simulation using geothermal system in a commercial building in Santa Maria, with heat load calculation update results in gain of 31.73% in installed capacity of air conditioners, compared to existing machines. The land area was not enough for full utilization of geothermal condensers, so for new setting is selected geothermal exchanger closed loop, with horizontal tubes and a open cycle, taking water from aquifer. Made a comparison of the existing system, using cooling tower only, configured for new thermal load and resulted in a reduction of 2.08% in available capacity of air conditioning, 4.15% in the installed electrical power. Air conditioners operating with geothermal external heat exchanger have 11.30% reduction in electrical current in relation to the heat exchanger cooling water tower and 18.40% in relation to the air heat exchanger. For configuration with geothermal exchanger is possible to eliminate the use of treated water for replacement of losses of water through the cooling tower, using water from aquifer to it, but are required to add pumps to get water from aquifer and other for horizontal closed loop buried in the soil.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de condicionamento artificial dos ambientes está em expansão no Brasil. Nos prédios comerciais, notadamente agências Bancárias, a utilização de climatização natural normalmente não é viabilizada pela necessidade de manter portas e janelas fechadas, por questões de conforto acústico e de segurança. Além disto, o público está menos tolerante às variações de temperaturas em locais comerciais pelo fenômeno de aclimação.

O sistema de ar condicionado basicamente troca o calor do ambiente condicionado com o ambiente externo. Para isto, pode ser utilizado o ar externo

umidificado para resfriamento, resistências elétricas ou água quente em serpentinas para aquecimento ou a utilização de fluídos frigoríficos em ciclos de compressão e expansão para retirada ou fornecimento de calor a um fluído que circulará pelo ambiente climatizado.

Vários destes sistemas são utilizados nos prédios, selecionados por fatores como: características construtivas do prédio, custo de operação ou custo de instalação.

Um sistema de ar condicionado é tanto eficiente quanto mais calor consegue retirar do, ou fornecer ao, ambiente condicionado, com menor consumo de energia. Nos sistemas de ar condicionado que utilizam compressão e expansão de fluídos frigoríficos, um dos fatores determinantes desta eficiência é a temperatura do meio de troca de calor com o ambiente externo. No ciclo de refrigeração, quanto mais alta a temperatura externa, maior será a potência do equipamento para retirar uma mesma carga térmica (CARRIER, 2014) . No Brasil, comercialmente, utilizam-se sistemas de ar condicionado com condensação a água ou ar. Os sistemas a água utilizam torres de resfriamento para retirada de calor do gás que passa pelo condensador. A construção típica de uma torre de resfriamento contempla tubulação de água, esguichos, eliminador de gotas, enchimento, bacia e ventilador ou turbina. O seu funcionamento é simples: a água entra nela pela posição superior, abaixo dos eliminadores de gotas, é aspergida em partículas que caem pelo enchimento. O ar entra por baixo, em contracorrente com as gotículas de água, trocando calor com elas. As máquinas de ar condicionado com condensação a água são mais eficientes que as condensação a ar. Contudo, as torres de resfriamento tem problemas quanto ao consumo de água (perdas pela evaporação ou vazamentos), custo de manutenção e falta de espaço para sua instalação ou ocupação de locais nobres nos prédios.

Na América do Norte, Europa e Ásia além das torres de resfriamento, também são utilizados trocadores de calor geotérmicos nos sistemas de condensação à água. Neste caso, a água que retira calor do gás que passa pelo condensador, é conduzida por tubulação ao subsolo ou lagos trocando calor com água ou solo, através das paredes da tubulação, sem contato direto. Também é utilizado o bombeamento da água de poços artesianos diretamente para o condensador e lançada para outros usos ou retorno dela para o lençol freático.

Estes trocadores, aproveitam a energia armazenada no solo para troca de calor da unidade condensadora. Como trabalham com maior diferencial de

temperatura, tem melhor rendimento, ou seja, conseguem retirar ou fornecer calor com menor consumo de energia que as demais máquinas de ar condicionado. No entanto, não existem tais máquinas a disposição no mercado Brasileiro. Nem mesmo são citadas na NBR 16.401-1, que trata das instalações de ar condicionado.

Estudos para aplicação desta tecnologia no Brasil são bem-vindos. Com a intensificação dos estudos, os projetistas terão um recurso a mais para solucionar suas questões de climatização e haverá instalações deste tipo de unidades condicionadoras e a conseqüente formação de mercado consumidor destas máquinas, trazendo um ganho de eficiência energética no segmento.

No Banco do Brasil, as torres de resfriamento estão sendo substituídas por sistemas de condensação a ar, devido à elevada demanda de manutenção destes sistemas. Além disto, a torre de resfriamento perde cerca de 5 a 10% da água em circulação (COSTA, 1991). Tais problemas impactam no custo administrativo dos prédios comerciais e trazem menor confiabilidade do sistema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O solo é aquecido ao longo do tempo pela ação do sol. A energia vai sendo armazenada no solo. Esta energia pode ser utilizada para troca de calor de um sistema de ar condicionado (CARRIER, 2014).

Os sistemas de ar condicionado tem como principio básico retirar calor de um ambiente e transferir para outro através da compressão, resfriamento, expansão e aquecimento de gás refrigerante. Quando em função de resfriamento, a troca de calor do gás, ocorre na parte externa do prédio, liberando calor para o meio ambiente. Quando em função calefação, ou bomba de calor, o resfriamento do gás ocorre no interior do prédio. A troca de calor do gás com o meio ambiente pode ser feita através do ar (máquinas de condensação a ar), através da água (máquinas de condensação a água). Nas máquinas de condensação a água podem ser utilizadas torres de resfriamento ou condensadores evaporativos (CREDER, 1997).

Além destes meios de troca de calor, também é possível utilizar o solo para fazer a troca de calor necessária para as mudanças de estado do gás refrigerante. Com bastante utilização na América do Norte, Europa e China, as bombas de calor geotérmicas, ou *GSHPs* (*ground source heat pumps*) são utilizadas em escala cada

vez maior. Na Alemanha, são instaladas 125.000 Unidades/ ano (WEBARCONDICIONADO,2013). O número de países com uso desta tecnologia era 26 no ano 2000 e passou para 43 em 2010 (LUND,2010). As bombas de calor geotérmicas foram consideradas pela *Environmental Protection Agency (EPA)* como os sistemas de condicionamento de ar de mais eficiência energética e mais ecológicos (ERDOGAN, 2010).

O sistema pode ser instalado em várias configurações, como sistemas fechados (Fig.1) ou a abertos (Fig.2 e 3). No sistema fechado, a tubulação passa pelo subsolo paralela à superfície do solo, perpendicular à superfície do solo ou imerso em reservatórios com grande massa de água, sem descarga da água. No sistema aberto, a água é tomada de um lençol freático ou reservatório de superfície e descarregada para outro local.



Fig. 1 –Sistemas com tubos fechados. Trocador em lagos, subsolo horizontal e subsolo vertical

Fonte: <http://sierraair.com/products/geothermal>



Fig. 2 - Sistemas aberto. Água subterrânea- Tomada e descarga para lençol freático.Fonte:www.georgia.daikinmcquay.com/McQuay/ProductInformation/WSHP/WSHPpageOld



Fig. 3 - Sistema aberto- tomada de lençol freático, descarga reservatório de superfície Fonte: minnesotageothermalheatpumpassociation.com/geothermal/earth-loop-options/

Além destas configurações, existem estudos de implantação de trocador geotérmicos nas próprias fundações dos prédios (Nam, 2014).

Os custos de instalação dependem do projeto e da aplicação, mas, segundo NAVIGANT CONSULTING, INC, 2009, uma instalação típica, nos Estados Unidos da América, custa em torno de US\$ 3.000,00 por TR (Tonelada de Refrigeração, equivalente à 3,52 kW) para COP de 3,4. O potencial de redução o consumo de energia para refrigeração fica entre 30 e 60% e entre 30 a 50% para calefação.

Os sistemas de bomba de calor geotérmicos tendem a ter melhor custo benefício nas seguintes situações:

- Construções novas, onde exista facilidade para sua instalação, ou instalações antigas já em final de vida útil,
- Climas com alta taxa de variação de temperatura durante o dia ou locais com invernos frios e verões quentes, com grande diferença de temperaturas ou onde o custo da eletricidade é muito maior que a média.

Algumas precauções devem ser tomadas com os sistemas geotérmicos:

- Instalação do sistema com um projeto completo, com todos os componentes calculados para o bom funcionamento do conjunto;

- utilizar instaladores experientes e certificados pelos fabricantes;
- analisar se o tipo de solo e sua condutividade é apropriada;
- informar-se sobre legislação local sobre uso do solo e água;
- obter certificados de garantia de equipamentos e instalações.

A Bomba de Calor Geotérmica depende da capacidade de transferência de calor do solo para seu funcionamento. Diferentes solos tem diferentes propriedades térmicas, impactando sobre o dimensionamento do tamanho do trocador de calor geotérmico, conforme quadro 1 (ERDOGAN, 2010).

Quadro 1 – Solos e propriedades térmicas – Estados Unidos da América		
Tipo de solo	Condutividade térmica- k (W/m ⁰ C)	Difusidade térmica α (mm ² /s)
Argiloso-Siltoso/20% de argila	1.1	0.57
Solo arenoso. Saturado (8%)	2.8	1.1
Franco-Siltoso saturado (20%)	2.3	0.68
Basalto quartil Inferior	1.2	0.6
Granito quartil inferior	2.8	0.81
Calcário quartil inferior	2.2	0.83
Xisto quartil inferior	1.6	0.49
Basalto médio	1.6	0.71

Fonte: ERDOGAN, 2010, página II-408

Para sistemas de ar condicionado maiores que 176 kW é recomendado fazer verificação das características térmicas do solo in loco (KAVANAUGH, RAFFERTY, 2014 e MCQUAY, 2002), através de perfuração do solo, utilizando um trocador de calor ciclo fechado vertical (fig.4), passando água quente pela tubulação durante 48 horas e fazendo leituras dos valores de entrada e saída da

água.



Figura 4 - Aparelho de teste de campo. Fonte: McQuay International-Geothermal Heat Pump- Design Manual

As máquinas para condicionamento de ar com utilização de trocador geotérmico já existem comercialmente, com produção seriada, por diversos fabricantes, como CARRIER e DAIKIN/McQUAY. Estes fabricantes têm forte presença no Brasil, mas no seu portfólio local, não é oferecido tal produto.

Existem pesquisas de utilização dos trocadores de calor geotérmicos no Brasil. Uma delas, realizada na Universidade Federal de Santa Maria, registrou temperatura do solo de 18 °C, para o dia 18/12/2009, para tubulação enterrada aos 4 metros da superfície (DUTRA,2010). Já, SANTO, 2014, apresentou a variação esperada de temperaturas no solo, conforme profundidade, demonstrado na figura 5.

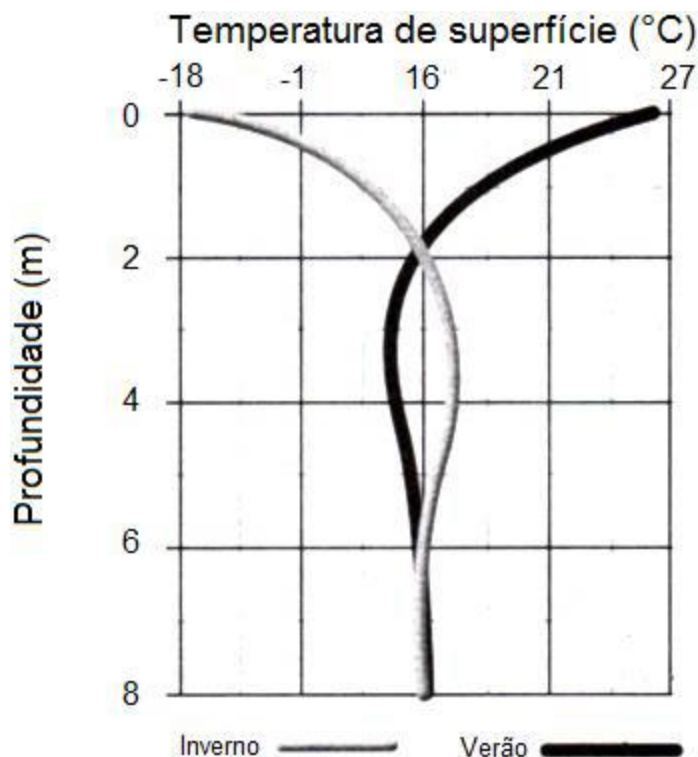


Fig. 5 - Temperatura x profundidade, fonte: SANTO, MERCOFRIO 2014

Para um sistema de ar condicionado com condensador geotérmico tem-se que analisar o comportamento térmico do solo. Ele funciona como um reservatório da energia solar que incide sobre a superfície terrestre. Uma parte desta energia não é refletida para o espaço e fica armazenada no subsolo. Em uma análise macro, durante o dia temos uma fonte quente externa, o sol, e uma fonte quente no interior, o centro da terra, como referencial teórico. À noite, o solo perde calor para o espaço, por radiação e para o ar e águas, por convecção. No entanto, no caso brasileiro, o calor do centro da terra não é significativo, exceto nas regiões termais, onde a água traz um pouco do calor geotérmico para superfície.

Para o caso de um sistema de ar condicionado com condensador geotérmico, teremos uma perturbação extra nas trocas de calor do solo, pois ele entregará calor ao solo durante o ciclo de refrigeração e receberá calor do solo durante em ciclo de calefação. Ou seja, a superfície de solo e o local onde o trocador de calor está posicionado tem o mesmo comportamento térmico de ganhos e perdas. Desta maneira, a questão mais elementar é que a variação térmica da superfície do solo não pode atingir o perímetro de troca de calor do trocador geotérmico.

Desta forma, o calor que deverá ser absorvido pelo solo é aquele que a máquina térmica dissipará ou absorverá (ciclo refrigeração ou calefação), utilizando a

água como meio para levar do condensador ao trocador de calor geotérmico. O cálculo do calor transportado pela água do sistema de ar condicionado será dado pela fórmula 1:

$$Q = mcp(te - ts) \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

Q= Calor em kW

m= vazão mássica de água da tubulação em Kg/s

te= temperatura de entrada (°C)

ts= temperatura de saída (°C)

A troca de calor a partir das paredes da tubulação será por condução. Seu cálculo é pela Lei de Fourier:

$$q = \frac{-kA(tex - ti)}{l} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

q= taxa de transmissão de calor em certo intervalo de tempo, dado em kJ.

k= constante de proporcionalidade, chamada de condutividade térmica.

A= área de troca de calor, da em m².

tex= Temperatura externa.

ti = Temperatura interna.

l=comprimento da parede em estudo.

WU;RAY (2014), Calculam a taxa de transferência de calor por unidade de comprimento e chegam ao comprimento da tubulação do trocador geotérmico:

$$Q = \frac{(tsolo - tágua)}{Rtotal} \quad (\text{Equação 3})$$

$$Rtotal = Rconv + Rtubo + Rsolo$$

$$l = m \cdot Cp \cdot Rtotal \cdot \ln\left[\frac{tsolo - tágua_{ent}}{(tsolo - tágua_{said})}\right]$$

Onde: Q= Quantidade de calor

tsolo- Temperatura solo na posição dos tubos

tágua- Temperatura da água

Rtotal – Resistência térmica total

Rconv- Resistência térmica da vazão de água

Rtubo – Resistência térmica do tubo

Rsolo- Resistência térmica do solo

m= vazão mássica da água

Cp=Calor específico

Para trocadores ciclo fechado verticais, INGERSOL (1954) apud KAVANAUGH e RAFFERTY (2014) trazem a equação:

$$q = \frac{l_{\text{trocador}}(t_{\text{solo}} - t_{\text{água}})}{R_{\text{total}}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

q= taxa de transferência de calor para/do solo

l= comprimento do trocador de calor

tsolo= temperatura do solo

tágua=temperatura média da água

Rtotal= Resistência térmica total

Segundo a norma AHRI 330-98, que versa sobre bombas de calor com trocador geotérmico, os tubos a serem utilizados na parte enterrada no solo devem ser de polietileno, fabricados a partir de material virgem, segundo ASTM D-2513, seção 4.1 e 4.2, com classificação PE 3408/3608 ou PE 4710. A condutividade térmica é de 5,19 e 5,37 W/m K, respectivamente. Os tubos de metais tem melhor condutividade térmica (46,05 W/mk para aço e 385,19 W/mK para cobre, CREDER) , contudo os plásticos não sofrem corrosão, mantem superfície mais lisa, com menor perda de pressão, menor peso, facilitando manuseio e menor custo de fabricação , TORRES, 2007.

A *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineer, Inc* (ASHRAE), traz em seu Handbook, chapter 34, uma seleção prévia de tamanho de trincheiras, a partir da quantidade de tubos por trincheira e temperatura do solo (quadro 2).

Quadro 2 - Comprimentos de trincheira ou furos por kW para Bombas de Calor Geotérmica Residenciais					
Tipo Sistema		Metros de tubos por Trincheira/Furo	Temperatura do Solo		
			17 a 19 °C	19 a 21 °C	
tubos	Horizontal	6	6	17	20
	Horizontal	4	4	22	26
	Horizontal	2	2	30	35
19mm	Vertical	Tubo	2	17	20
	Vertical	Tubo	2	16	19
25mm	Vertical	Tubo	2	15	17
mm	Vertical	Tubo 32	2	15	17

Baseado em $k = 1,0 \text{ w/(m.K)}$ para tubos horizontais e $2,1 \text{ W/(m.K)}$ para tubos verticais e considerado uso de tubos de Polietileno e alta densidade.

Quadro 3 correção de valores para diferentes solos		
Condutividade do solo W/(m.K)	Tubos Horizontais	Tubos Verticais
0,7	1,22	
1,0	1,0	
1,4	0,89	1,23
1,7	0,82	1,10
2,1		1,0
2,4		0,93
2,8		0,87
3,1		0,83
3,5		0,79

Para as condições de Santa Maria, RS, são abundantes as informações

sobre as características térmicas do solo nas camadas superficiais, ou seja, do solo agricultável. Abaixo desta camada, encontram-se somente informações da área de geotécnica, para subsidiar estudos de sustentação de edificações, porém sem as características térmicas do solo, tampouco do percentual de umidade ao longo do tempo. Para a região, SCHNEIDER, 1979, traz:

Calor específico do solo	2051,53 kJ/m ³ .K *
Condutividade térmica do solo	1,23 09 W/mK.*
Difusidade térmica solo	0,0000006 m ² /s

Conclui ele:

“A profundidade média mensal de extinção da onda diária de temperatura varia entre 44 cm , em julho, a 54 cm, em dezembro.”

**convertido para unidades SI a partir do original.*

Sobre as águas subterrâneas, na cidade de Santa Maria, os poços artesianos têm uma vazão média de 5 m³/h, conforme dados fornecidos por Irmãos Bissacoti Ltda.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Estudar um sistema de ar condicionado central, dimensionando um sistema de condensação geotérmica, nas condições do prédio, terreno e de solo de Santa Maria, RS.

3.2 Objetivo específico

Melhorar a eficiência energética de um sistema de ar condicionado central, utilizando condensadores geotérmicos de ciclo aberto e fechado em parte da vazão de água de condensação.

4 METODOLOGIA

Partindo-se de uma revisão bibliográfica sobre os materiais utilizados nos trocadores de calor e as metodologias de cálculo consolidadas para seu dimensionamento, verificou-se comportamento do consumo de energia do prédio através da análise de sua conta de energia elétrica. Com base no levantamento do comportamento do sistema de ar condicionado em estudo com a medição das temperaturas de entrada e saída da torre durante um período. Calculou-se a quantidade de calor dissipada pelo sistema durante este período. Calculou-se também, a carga térmica atual do prédio estudado. Selecionadas novas máquinas de ar condicionado, considerando-as operando com as temperaturas de água vindas do subsolo. A etapa seguinte foi a comparação entre a situação atual com a mudança hipotética, verificando eventual redução de potência instalada. Estudado o trocador geotérmico e verificada sua viabilidade de instalação dentro dos limites do terreno do prédio estudado e a melhor configuração possível para o local. Para realizar as etapas descritas, fez-se necessário a coleta de dados do local de aplicação, a obtenção de informações referentes ao consumo atual do sistema de refrigeração convencional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objeto de estudo foi um prédio comercial, localizado no centro da cidade de Santa Maria, RS, com sistema de ar condicionado central, composto por unidades condicionadoras tipo Self Contained, condensação à água, com torre de resfriamento, dutos para distribuição do ar e difusores insuflamento e retorno, conforme os dados apresentados nos Quadros 4,5 e 6.

Quadro 4 - Condicionadores de ar existentes				
Referência	Setor	Capacidade Nominal	Ponto de Força (3f-380V-60 Hz	Vazão de água
WV-01	1ºPav	70,337 kW	29 kW	14,8 m³/h
WV-02	Atend.	43,960 kW	18 kW	9,6 m³/h
WV-03	SUREG	52,752 kW	23 kW	11,3 m³/h
WV-04	2º Pav Atend.	52,752 kW	21 kW	11,2 m³/h
WV-05	Suporte	52,752 kW	23 kW	11,3 m³/h
WV-06	2º Pav Atend..	35,168 kW	16 kW	8,3 m³/h
WV-07	2º Pav Atend.	35,168 kW	16 kW	8,3 m³/h
Total		342,894 kW	146 kW	74,8 m³/h

Quadro 5 Torres de Resfriamento existentes					
Referência	Vazão de água	Temp. Entrada água	Temp. Saída água	Motor ventilador	Tensão e Frequência
WT1	52,5 m³/h	35,0 °C	29,5°C	3,68 kW - 8 polos	3f-380V-60 Hz
WT2	52,5 m³/h	35,0 °C	29,5 °C	3,68 kW 8 polos	3f-380V-60 Hz

Quadro 6 Motobombas existentes					
Referência	Vazão de água	Altura Manométrica	Rotação	Potência	Tensão e Frequência
P1	74,8 m³/h	30 mca	1750	11,032 kW	3f-380V-60 Hz
P2	74,8 m³/h	30 mca	1750	11,032 kW	3f-380V-60 Hz

Observou-se que as máquinas são antigas, com diferentes anos de fabricação e oriundas de outras configurações de sistemas de ar condicionado. Assim, foi feito cálculo de carga térmica, utilizando software *Hourly Analysis Program, version 4.61*, da CARRIER, licença para uso do Banco do Brasil S.A, para verificar

da adequação do parque de máquinas à demanda atual de condicionamento de ar. O resumo do cálculo de carga térmica é demonstrado no quadro 7.

Quadro 7 – Carga Térmica atual				
Locais	Máquinas	CT (kW)	CS (kW)	Vazão de ar m³/h
Atendimento térreo	wv-01	27,733	23,628	7549,2
Atendimento mezanino	wv-02	23,728	20,324	6447,6
GERAT	wv-03	35,943	32,338	10980
Atendimento 2º pavimento	wv-04	33,039	28,567	9554,4
GEREV- Suporte	wv-05	47,557	42,65	14742
Atendimento 2º pavimento	wv-06	33,039	28,567	9554,4
Atendimento 2º pavimento	wv-07	33,039	28,567	9554,4
Total		234,078		

Onde:

CT- Calor Total, dado em kW

CS- Calor Sensível, dado em kW

Vazão de ar em m³/h

Os normais climatológicos para região de Santa Maria (INMET) apresentados no quadro 8, trazem uma amplitude térmica de 10,3 °C, com temperaturas médias de 18,8°C, coerente com a temperatura do solo apresentada por DUTRA.

Quadro 8 - Normais Climatológicos para região de Santa Maria- RS		
	Temperaturas	Umidade relativa
Nome da Estação	Santa Maria	Santa Maria
UF	RS	RS
Janeiro	24,2	71,0
Fevereiro	23,9	76,0
Março	21,9	79,0
Abril	18,4	80,0
Mai	15,9	82,0
Junho	13,9	81,0
Julho	14,1	80,0
Agosto	14,2	78,0
Setembro	16,5	78,0
Outubro	18,6	73,0
Novembro	21,0	71,0
Dezembro	23,3	69,0
Média Ano	18,8	76,5

A iluminação, os computadores e outros equipamentos são praticamente todos ligados até às 10:00 e desligados até às 18:00. Assim, podemos dizer que estas cargas são constantes no prédio. Já o sistema de ar condicionado tem funcionamento variável. O consumo de energia do prédio, no gráfico 1, confirma a sazonalidade do uso daquele sistema, com aumento de consumo de energia no verão e redução no inverno e o gráfico 2 demonstra que ocorre variação também ao longo do dia.

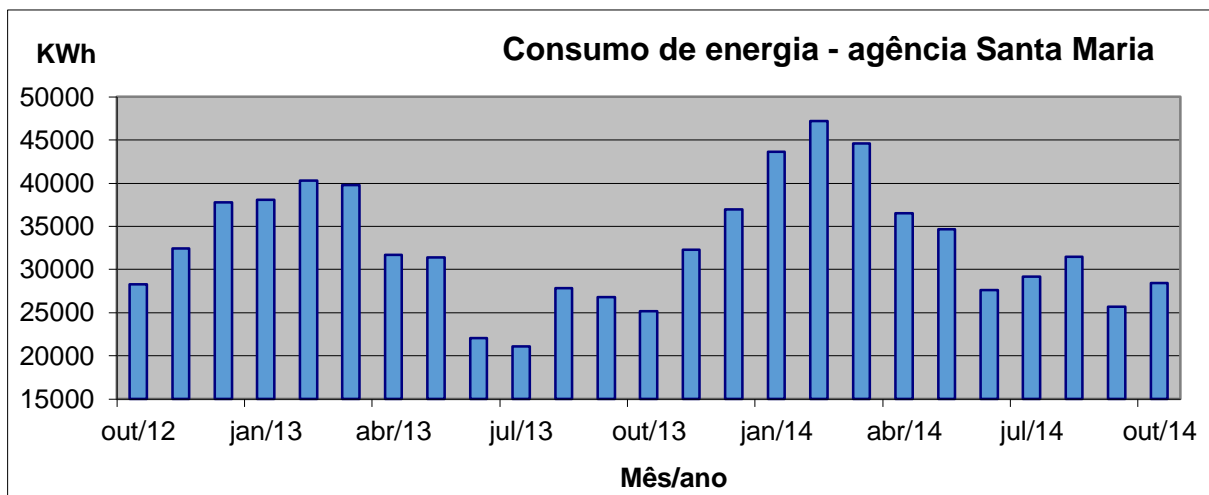


Gráfico 1 – Consumo de energia no prédio em 24 meses

O Gráfico 2, obtido do quadro 18 do apêndice C, traz a vazão de água necessária para o calor dissipado pelas unidades climatizadoras, obtida a partir de medições realizadas na torre de resfriamento, conforme detalhado nos apêndices A e B, demonstrando o comportamento variável do sistema de ar condicionado ao longo do dia.

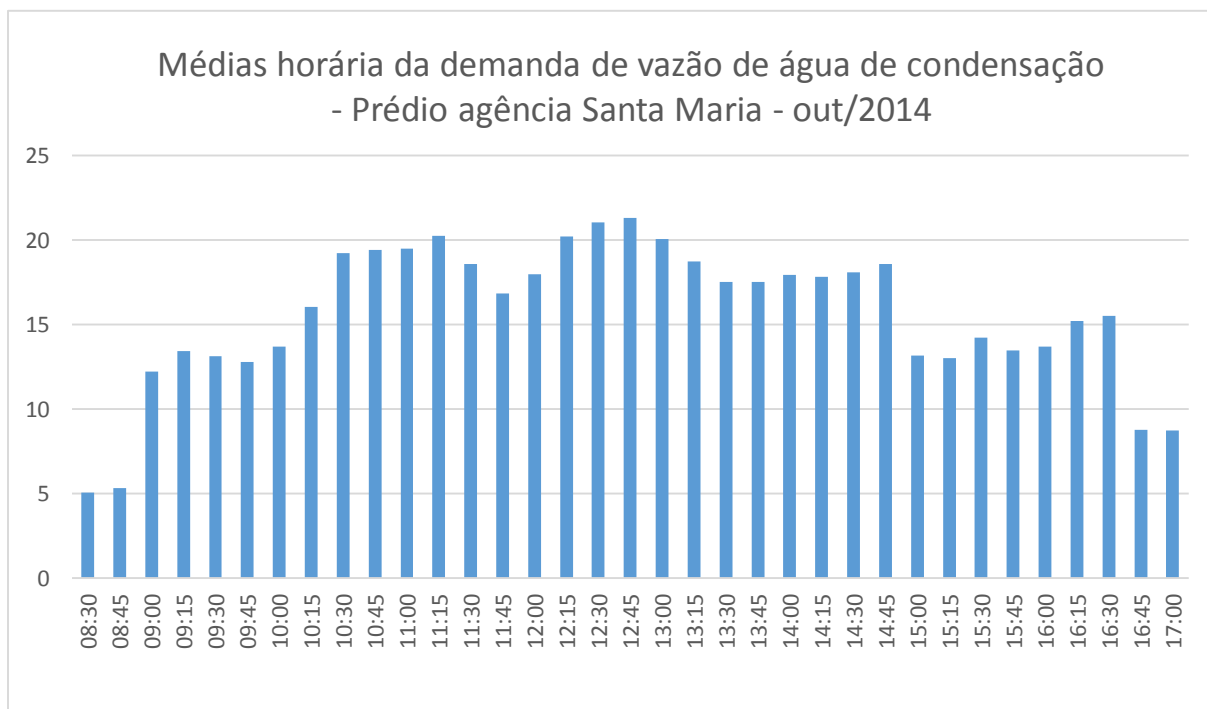


Gráfico 2 – Vazão de água necessária (m³/h) para carga térmica ao longo do dia.

A estimativa inicial para tamanho do trocador geotérmico, utilizando metodologia da ASHRAE (quadro 2), para temperatura de solo 17 a 19°C e 6 tubos por trincheira, foi de 17 metros de trincheira/kW. Corrigido pela tabela 3, pelo fator

para tubos horizontais em solo com condutividade térmica acima de 1,0 W/mK (limite da tabela para tubos horizontais) temos 13,94 metros de trincheira por kW. Para a carga térmica de 234,078 kW, teremos um total de 3.263,05 metros de trincheira

A área do terreno ocupado pelo prédio é de 1.419,15 m², com largura de 20 m e profundidade de 70 m, ou seja com área insuficiente para a um trocador geotérmico horizontal. Contudo, o prédio tem carga térmica variável, assim pode-se utilizar parte sistema convencional, com torre de resfriamento e parte com sistema trocador geotérmico misto, utilizando trocador de ciclo fechado horizontal e trocador de ciclo aberto de águas subterrâneas. KAVANAUGH, recomenda utilização de climatizadores com fabricação específica para trocadores geotérmicos, visto o histórico de perdas de eficiência quando ocorre adaptação de sistema convencional para geotérmico. A distância entre trincheiras é de 3 metros (ASHRAE), considerando estas com largura de 1 metro, o terreno do prédio comporta 350 metros de trincheiras, com capacidade para 25,108 kW. Utilizando um poço artesiano, pode-se obter uma vazão de 5 m³/h de água, à temperatura de 18 °C.

Dos fabricantes de bombas de calor geotérmicas para o mercado dos Estados Unidos da América, Carrier e Daikin/McQuay tem fábricas no Brasil. O catálogo CAT 1109-7, do modelo *Enfinity large Vertical Water Source Heat Pumps*, traz dois modelos que são compatíveis com a disponibilidade troca de calor geotérmico do terreno e águas subterrâneas:

Quadro 9 Climatizadores comerciais específicos para trocadores geotérmicos					
Fabricante	Modelo	Potência elétrica kW	Capacidade Refrigeração-kWh	Calor Rejeitado	Vazão de água condensador Temperatura de entrada:21,1°C
Dakin/McQuay	Size 096	5,632	22,349	27,980	3,634 m ³ /h
	Size 072	4,950	19,181	24,138	2,725 m ³ /h

Quadro 10 Climatizadores comerciais condensação à água					
Fabricante	Modelo	Potência elétrica kW	Capacidade Refrigeração-kWh	Calor Rejeitado	Vazão de água condensador Temperatura de entrada:21,1°C
Midea Carrier	40BR16	13,626	51,807	64,702	7,727 m ³ /h
	40BR12	10,230	43,426	48,817	5,830 m ³ /h

Quadro 11 – Nova configuração de Climatizadores - utilizando todo potencial geotérmico do terreno					
Locais	Máquinas	Modelo	CT (kW)	Potência Elétrica (kW)	Vazão de água (m³/h)
Atendimento térreo	wv-01	40BR12	43,426	10,23	5,83
Atendimento mezanino	wv-02	Size096	22,349	5,63	3,634
GERAT	wv-03	40BR12	43,426	10,23	5,83
Atendimento 2º pavimento	wv-04	40BR16	51,807	13,626	7,727
GEREV- Suporte	wv-05	Size072*	19,181	4,95	2,725
Atendimento 2º pavimento	wv-06	40BR12	43,426	10,23	5,83
Atendimento 2º pavimento	wv-07	40BR12	43,426	10,23	5,83
Total			267,041	65,126	37,406

*Climatizadores com trocador geotérmico

Para a carga térmica atual, o sistema de ar condicionado condensação à água, com torre de resfriamento tem a seguinte configuração:

Na simulação acima, uma das máquinas com condensador geotérmico utiliza água subterrânea. Esta água pode ser reaproveitada para diversas finalidades, como por exemplo descargas de banheiro e reposição de água da torre de resfriamento. Como o prédio está atualmente configurado para um público permanente de 90 pessoas, conforme layout arquitetônico e informações da administração do prédio, incluindo funcionários e terceirizado e o consumo de água estimado para prédio comercial é de 50 a 80 litros/pessoa dia (MACINTHYRE, 1996), ou seja, uma vazão diária é 4,0 m³/dia a 6,4 m³/dia . As perdas de água da torre de resfriamento ficam entre 5 e 10% da sua vazão, ou seja, 1,55 a 3,10 m³/h . O condicionador WV-02 demanda vazão de 3,63 m³/h, acima da demanda de reposição da torre, sendo possível de utilizar água do poço artesiano para reposição das perdas da Torre de Resfriamento e uso em descargas de sanitários ou outras finalidades que comportem uso de águas não tratadas.

Para o condensador geotérmico horizontal, é necessário 2.462 metros de tubos, considerando dissipação de 24,138 kW e valores das tabelas 2 e 3.

Para uma boa troca térmica o escoamento da água na tubulação deve ser em regime turbulento, ou seja, $Re > 2000$. Utilizando tubos de 0,0127 m de diâmetro, para vazão de 2,725 m³/h, obtém-se $Re = 4.293$. A perda de carga é elevada, 46,12 mca, calculada considerando escoamento turbulento (MACINTYRE, 2012). Esta vazão e perda de carga determinam uso de bomba de 3 estágios, com potência de 1,1 kW, considerado fabricante Schneider.

Como o terreno limita o uso do sistema geotérmico, o restante da demanda de água de condensação do sistema de ar condicionado é suprida por torre de resfriamento. A vazão de água para torre de resfriamento é 31,05 m³/h, com altura manométrica de 30 mca, inferida pelas bombas atuais, resultando em bomba com potência de 5,51 kW, conforme catalogo do fabricante KSB.

Quadro 12 Torre de Resfriamento –Configuração com sistema geotérmico					
Referência	Vazão de água	Temp. Entrada água	Temp. Saída água	Motor ventilador	Tensão e Frequência
WT1	32,0 m ³ /h	35,0 °C	29,5°C	3,68 kW - 8 polos	3f-380V-60 Hz

Quadro 13 Motobombas Configuração com trocadores geotérmicos					
Referência	Vazão de água	Altura Manométrica	Rotação	Potência	Tensão e Frequência
P1	35 m ³ /h*	30 mca	1750	5,51 kW	3f-380V-60 Hz
P2	2,7 m ³ /h	50 mca	3600	1,1 kW	1f-220V-60 Hz
P3	3,6' m ³ /h	50 mca	3600	1,1 kW	1f-220V-60 Hz

Para comparação entre sistema geotérmico e sistema convencional é necessário comparar para a mesma carga térmica, ficando a configuração atualizada conforme quadro 14:

Quadro 14 – Nova configuração de Climatizadores condensação à água, com torre de resfriamento					
Locais	Máquinas	Modelo	CT (kW)	Potência Elétrica (kW)	Vazão de água (m³/h)
Atendimento térreo	wv-01	40BR12	43,426	10,23	5,83
Atendimento mezanino	wv-02	40BR08	27,044	7,631	3,162
GERAT	wv-03	40BR12	43,426	10,23	5,83
Atendimento 2º pavimento	wv-04	40BR16	51,807	13,626	7,727
GEREV-Suporte	wv-05	40BR06	20,183	5,771	2,4
Atendimento 2º pavimento	wv-06	40BR12	43,426	10,23	5,83
Atendimento 2º pavimento	wv-07	40BR12	43,426	10,23	5,83
Total			272,738	67,948	36,609

Quadro 15 Motobombas- Nova Configuração					
Referência	Vazão de água	Altura Manométrica	Rotação	Potência	Tensão e Frequência
P1	37 m³/h*	30 mca	1750	5,51 kW	3f-380V-60 Hz

Tabela 16 - Torre de Resfriamento –Nova configuração					
Referência	Vazão de água	Temp. Entrada água	Temp. Saída água	Motor ventilador	Tensão e Frequência
WT1	37,0 m³/h	35,0 °C	29,5°C	3,68 kW - 8 polos	3f-380V-60 Hz

A potência instalada total engloba ventiladores e compressores dos climatizadores, no entanto, o efetivo consumo de energia varia conforme a temperatura de operação do condensador, demonstrada pela corrente elétrica total que o climatizador demanda. Tal informação não é disponibilizada pelos fabricantes

de climatizadores. A Bitzer, fabricante de compressores, disponibiliza simulador de seus produtos e obteve-se, para as temperaturas de operação nas condições de trocador geotérmico (20 °C, temperatura limite do simulador), Torre de Resfriamento (29,5 °C) e ar do ambiente externo (35 °C). Os valores de corrente elétrica são apresentados no quadro 17.

Quadro 17 Corrente elétrica para compressor Bitzer GSD60120VA 4		
Condensador à 20 °C*	Condensador à 29,5 °C	Condensador a 35 °C
8,56 a	9,65 a	10,49 a

*condição mínima do simulador.

Dos resultados e dados acima, pode-se concluir que:

- O clima e solo da região permitem uso de condensadores geotérmicos;
- O prédio possui variação de carga térmica compatível com sistema geotérmico, porém o terreno não é suficiente para os trocadores;
- O uso de condensadores geotérmicos proporciona redução no consumo de água comparando-se com uso de torre de resfriamento;
- O uso de condensador de ciclo aberto, tomada de lençol freático proporciona extinguir consumo de água de reposição da torre de resfriamento para o prédio em estudo;
- Ocorre redução na potência elétrica total de climatizadores, no uso de condensadores geotérmicos;
- Os compressores de climatizadores com trocadores geotérmicos operam com redução de 11,30% na corrente nominal em relação ao seu uso com Torre Resfriamento.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho é uma simulação de uma nova instalação do prédio estudado, trabalhando com melhor possibilidade de uso de sistemas de ar condicionado com trocador geotérmico. Efetivamente o prédio está construído e não comporta tais modificações. Contudo, tem-se registro de um prédio utilizado pelo Banco do Brasil, na cidade de Caxias do Sul, com uma nascente de água em seu subsolo, que poderia

ser incorporada aos condensadores do sistema de ar condicionado daquele prédio.

O trabalho cumpriu o objetivo geral do curso, visto que detectou pontos que podem ter sua eficiência melhorada em grande escala, como a utilização de máquinas de ar condicionado de potências compatíveis com a situação atual do prédio e variadores de frequência para proporcionar vazões de água compatíveis com a variação da carga térmica do prédio. Também atingiu o objetivo inicial do trabalho, visto que a tecnologia proposta apresenta efetivamente melhor eficiência que a utilizada atualmente.

As propriedades térmicas do solo devem ser melhor estudadas, pois os valores existentes referem-se às camadas acima daquelas que devem ser utilizadas efetivamente pelos condensadores geotérmicos. Algumas instituições de ensino, como a UFSM, têm grandes área disponíveis para pesquisa de funcionamento de sistemas de ar condicionado com trocador geotérmico, dando início a um padrão brasileiro para instalações deste tipo.

7 REFERÊNCIAS

ABRAVA- Associação Brasileira de Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em : <http://www.abrava.com.br/edificio-inteligente-com-Emissao-zero-de-carbono> – acesso 20/06/2014.

ASHRAE- **Handbook on-line**. Disponível em : <http://handbook.ashrae.org/> acesso 18/02/2015.

ARBOIT, Nathana, **Potencialidade de Utilização da Energia Geotérmica no Brasil- Uma Revisão de Literatura**. Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 26, p. 155-168, 2013.

BITZER. Dimensionamento de compressores. Disponível em <https://www.bitzer.de/websoftware/>. Acesso em 20/02/2015

CARRIER, **Geothermal Comfort Systems**. Disponível em : WWW.CARRIER.COM, acesso 15/10/2014.

CARRIER. **Catalogo técnico self containeid**. Disponível em

www.carrierdobrasil.com.br, acesso 15/10/2014.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. Rio de Janeiro,RJ: LTC Editora,1997.

DAIKIN. **Catalogo técnico bombas de calor**. Disponível em: www.daikinapplied.com/water-source-heat-pumps-enfinity-horizontal.php, acesso 18/02/2015.

DUTRA, Adriane. **Aproveitamento de fontes Alternativas para redução do consumo de energia elétrica e reflexos nos seus custos**. Santa Maria, RS: UFSM, 2010.

ERDOGAN, Birse. **The Effect of Soil Type on Sizing of Vertival Single U-Tube Ground Heat Exchanger for Ground Source Heat Pump**. Edirne, Turkey: *Internacional Scientific Conference, Trakya University, Mechanical Engineering Department, 2010*.

INMET. **Dados Climatológicos**. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf. Acesso 18/11/2014.

FONTAINE, Pier-Olivier. **Modeling of horizontal geexchange systems for building heating and permafrost stabilization**. *Geothermics [0375-6505] vol:40 iss:3 pg:211 -220, 2011*.

HOMEBUILDING & RENOVATING. **Specifying heat pumps**. Disponível em: <http://www.homebuilding.co.uk/advice/key-choices/green/specifying-heat-pumps-> acesso 20/06/2014;

KAVANAUGH, Steve. **A 12-Step method for closed-loop ground-source heat-pump design**. *ASHRAE Transactions [0001-2505] vol:114 iss:2 pg:328, 2008*

KAVANAUGH, S.P.; Rafferty, K. **Ground-Source Heat Pumps—Design of Geothermal System for Commercial and Institutional Buildings**. Atlanta: ASHRAE, 2014.

LUND, J.W.; FREESTON, H.H.; BOYD, T.L. **Direct Utilization of Geothermal Energy** . Bali, Indonesia : 2010 Worldwide Review. In *Proceedings of World Geothermal Congress, 2010*.

MACINTYRE, Archibald. **Bombas e instalações de bombeamento**. Rio de Janeiro, RJ: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2012, pág 636 a 675..

MACINTYRE, Archibald. **Instalações Hidráulicas- prediais e industriais**. Rio de Janeiro, RJ: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1996..

NAM, Y. **Numerical simulation for the optimum design of ground source heat pump system using building foundation as horizontal heat exchanger**. *Energy* [0360-5442] vol:73 pg:933 -942, 2014.

NAVIGANT CONSULTING, IN. **Ground-Source Heat Pumps: Overview of Market Status, Barriers to Adoption, and Options for Overcoming Barriers** Disponível em: www1.eere.energy.gov/geothermal/pdfs/gshp_overview.pdf. acesso em 20.02.2015

RYBAUCH, Ladislaus. **Ground-source heat pump systems the European experience**. Zurich, Switzerland: Institute of Geophysics ETH, GH-8093, 2000.

SAYYAADI, Hoseyn. **Various criteria in optimization of a geothermal air conditioning system with a horizontal ground heat exchanger**. *International journal of energy research* [0363-907X] vol:34 iss:3 pg:233 -248, 2010.

SANNER, Burkhard. **Current Status of Ground Source Heat Pumps in Europe**. Warsaw, Poland: Conference Futurestock 2003, Inst. Of Applied Geosciences, Justus Liebig Univesity, 2003.

SANTO, Alexandre. **Análise de Temperaturas Geotérmicas para aplicação de Bombas de Calor no Paraná**. Porto Alegre, RS: MERCOFRIO, 2014

SCHNEIDER, Flavio. **Comportamento e propriedades térmicas do solo Santa Maria**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queirós", 1979.

TAVARES, Juvêncio. **Integração de sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios**. Coimbra, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, 2011.

TORRES, Amelia Angelia Ulloa. **Envelhecimento Físico Químico de Tubulações de Polietileno de Alta Densidade Empregadas em Redes de Distribuição de Derivados de Petróleo**. Rio de Janeiro, RJ: Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro- PUC, 2007.

WEB AR CONDICIONADADO. [Sistema de resfriamento geotermica esta sendo implantado em escola de SP.](http://www.webarcondicionado.com.br/sistema-de-resfriamento-geotermica-esta-sendo-implantado-em-escola-de-sp) Disponível em: <http://www.webarcondicionado.com.br/sistema-de-resfriamento-geotermica-esta-sendo-implantado-em-escola-de-sp>. Acesso em 20/06/2014.

WU,Ray; TINJUM, James; LIKOS, William. ***Coupled thermal conductivity dryout curve and soil water characteristic curve in modeling of shallow horizontal geothermal ground loops.*** Switzerland: Geotech Geol Eng. DOI 10.1007/s10706-014-9811-2, Springer International Publishing Switzerland, 2014.

8 APÊNDICE A - RELATÓRIO FOTOGRÁFICO DO SISTEMA ATUAL DE TROCA DE CALOR DE CONDENSAÇÃO

A figura 6 apresenta uma motobomba, ou seja uma bomba centrífuga com motor elétrico com acoplamento direto. A tomada de água vem da bacia da torre de resfriamento, que fica acima da bomba. Assim, elas trabalham “afogadas”, ou seja, com pressão positiva na tomada de água. A figura 7 mostra a identificação da bomba. Com seus dados pode-se verificar a pressão, vazão e potência de motor determinados pelo fabricante. Na figura 8, pode-se ver os elementos da ligação flangeada da motobomba com a tubulação de água. Observa-se dois elementos flexíveis para absorver as vibrações.



Fig. 6 Motobomba



Fig. 7 Identificação



Fig. 8 Vista motobomba



Fig. 9 Vista geral das torres

A figura 9, mostra as duas torres de resfriamento. Em primeiro plano, pode-se ver as quatro tomadas de ar, a tubulação de entrada de água na parte superior e a tubulação de saída de água na parte inferior. Na figura 10, pode-se

ver as três turbinas, acionadas por eixo único. A placa de identificação traz os dados específicos daquela torre, como vazão de água e temperaturas de entrada e saída da água para a qual ela está dimensionado.



Fig. 10 Vista tomada de ar das torres Fig. 11 – Placa identificação

APÊNDICE B - MEDIÇÕES DE TEMPERATURA DE ÁGUA E AR NA TORRE DE RESFRIAMENTO.

O data logger gravou leituras a cada minuto. Fez-se um resumo para intervalos de 15 minutos, fazendo-se as médias de cada intervalo. As leituras foram realizadas entre as 13:50 do dia 13/10/2014 até o dia 21/10/2014. Foi calculado o calor trocado, a partir da diferença de temperatura e vazão da bomba existente (equação 1)

Tabela 2- Temperaturas medidas e calor trocado

medição	13/10/2014			
	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
14:05	19,74	19,32	19,66	37,189
14:20	19,85	19,37	19,44	41,640
14:35	19,88	19,34	18,87	47,324
14:50	19,95	19,42	18,76	46,048
15:05	20,08	19,52	18,86	49,064
15:20	20,20	19,62	19,04	49,760
15:35	20,29	19,71	19,14	50,456
15:50	20,25	19,66	19,08	50,804
16:05	20,22	19,64	18,85	50,108
16:20	20,21	19,66	18,94	48,020
16:35	20,28	19,71	18,97	50,108
16:50	20,30	19,71	18,97	51,151
17:05	19,66	19,61	19,40	3,944
17:20	18,59	19,55	19,50	Sist. inoperante
medição	14/10/2014			
08:15	17,52	17,79	19,02	Sistema inoperante
08:30	17,89	17,84	19,69	4,411005
08:45	18,03	17,91	19,46	10,44712
09:00	18,16	18,03	19,99	11,95614
09:15	18,35	18,21	20,54	12,53654
09:30	19,27	18,83	21,03	38,53826
09:45	19,88	19,36	20,40	45,61908

Tabela 2 – continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
10:15	20,22	19,67	20,93	47,7085
10:30	20,43	19,87	21,61	48,63714
10:45	20,61	20,10	22,33	44,9226
11:00	20,85	20,32	22,73	46,89595
11:15	21,25	20,64	23,11	53,51246
11:30	21,81	21,11	23,28	60,59328
11:45	20,73	20,27	23,62	40,74375
12:00	21,24	20,68	24,18	48,86929
12:15	22,64	21,79	24,32	74,2906
12:30	22,95	22,08	24,80	76,14788
12:45	22,84	21,91	24,93	80,32672
13:00	22,80	21,87	25,93	81,13927
13:15	22,95	22,06	26,34	77,77297
13:30	23,00	22,07	25,84	81,0232
13:45	23,08	22,15	25,95	80,4428
14:00	23,51	22,49	26,41	88,91657
14:15	24,14	22,98	26,69	101,5692
14:30	24,22	23,06	27,03	100,2923
14:45	24,13	22,92	26,93	105,2837
15:00	24,05	22,82	27,07	107,2571
15:15	24,04	22,82	26,82	106,0963
15:30	25,27	23,75	26,74	133,0266
15:45	25,60	24,05	26,55	134,1874
16:00	25,61	24,06	26,79	135,4643
16:15	25,56	23,98	26,43	137,6697
16:30	25,45	23,88	26,24	136,9733
16:45	24,47	23,14	26,30	115,6148
17:00	23,41	22,71	26,32	61,17368
17:15	20,77	22,77	27,93	Sistema inoperante
medição	15/10/2014			
08:15	18,85	19,07	20,79	Sistema inoperante

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
08:30	19,29	19,20	21,19	8,009456
08:45	19,14	19,29	20,97	-12,5365
09:00	19,42	19,51	21,67	-8,00946
09:15	19,65	19,78	22,60	-10,7954
09:30	20,80	20,56	23,08	21,24247
09:45	22,47	21,55	22,15	80,09456
10:00	20,94	20,45	22,47	42,94925
10:15	20,86	20,40	23,15	39,81512
10:30	24,40	23,25	24,06	100,2923
10:45	26,07	24,60	24,86	128,0353
11:00	26,53	25,05	25,63	128,6156
11:15	26,63	25,17	26,08	126,5262
11:30	25,65	24,48	26,38	101,337
11:45	25,68	24,57	26,95	96,80995
12:00	25,87	24,77	27,11	95,9974
12:15	27,07	25,67	27,25	122,1152
12:30	29,32	27,44	27,68	163,5555
12:45	29,77	27,79	28,15	172,3774
13:00	29,96	27,97	28,65	172,9579
13:15	30,12	28,11	29,04	174,8151
13:30	29,60	27,75	29,38	160,5374
13:45	29,12	27,40	29,34	149,0455
14:00	29,55	27,73	29,52	158,4479
14:15	29,61	27,78	29,83	159,4926
14:30	29,60	27,76	30,21	160,1891
14:45	29,72	27,90	30,26	158,564
15:00	29,53	27,68	28,45	161,2338
15:15	29,38	27,58	27,87	157,4032
15:30	29,24	27,42	27,68	158,4479
15:45	29,25	27,45	27,63	156,7067
16:00	28,50	27,19	27,83	113,7575

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
16:15	27,82	26,47	27,57	117,3559
16:30	27,58	26,23	27,30	117,3559
16:45	27,48	26,18	27,07	113,5253
17:00	26,85	26,24	27,01	53,16422
17:14 medição 16/10/2014	27,64	29,74	30,84	Sistema inoperante
08:15	28,58	25,39	29,05	277,1751
08:30	29,11	25,36	29,58	326,9947
08:45	29,38	25,68	29,70	277,1751
09:00	29,52	25,99	29,89	326,9947
09:15	29,82	26,28	30,34	158,4479
09:30	29,34	26,27	30,81	322,4677
09:45	27,41	26,17	31,23	306,797
10:00	27,92	26,60	31,44	307,9577
10:15	29,16	27,55	31,68	268,0266
10:30	29,73	28,00	32,32	107,9535
10:45	31,32	29,14	32,77	114,9183
11:00	32,36	30,08	31,97	140,6878
11:15	32,50	30,15	29,80	150,4385
11:30	31,10	28,63	24,73	190,0215
11:45	30,24	27,87	23,90	198,4952
12:00	29,87	27,52	22,80	204,4152
12:15	29,41	27,11	22,22	214,9784
12:30	29,12	26,86	22,36	206,2725
12:45	29,59	27,24	23,45	204,183
13:00	29,66	27,26	23,82	208,9423
13:15	28,59	26,45	24,46	185,8426
13:30	28,14	26,09	24,68	178,6457
13:45	27,94	25,88	25,08	178,7617
14:00	27,98	25,95	26,01	177,0205
14:15	27,95	25,89	25,79	179,6904

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
14:30	27,83	25,80	25,77	176,5563
14:45	27,94	25,86	26,04	180,7351
15:00	28,57	26,38	26,71	190,6018
15:15	29,61	27,22	27,51	207,8976
15:30	29,79	27,38	27,45	209,987
15:45	29,93	27,49	27,24	212,0765
16:00	30,05	27,60	27,25	213,8177
16:15	30,03	27,58	27,36	213,8177
16:30	29,95	27,48	26,87	214,7463
16:45	29,29	26,99	26,75	200,0042
17:00	28,20	26,91	27,36	112,7128
17:15	23,67	26,32	28,65	Sistema inoperante
medição	17/10/2014			
09:15	19,42	19,70	19,46	Sistema inoperante
09:30	20,69	20,54	19,48	13,11694
09:45	23,46	22,40	19,30	91,93463
10:00	23,72	22,64	19,53	93,67581
10:15	23,70	22,57	19,32	98,55113
10:30	23,53	22,41	19,21	97,50642
10:45	25,22	23,68	19,37	134,3035
11:00	25,29	23,81	19,80	128,9638
11:15	24,33	23,09	20,04	107,6053
11:30	24,33	23,12	20,45	105,5159
11:45	23,90	22,74	20,50	100,8727
12:00	21,85	21,12	20,63	63,49525
12:15	21,30	20,68	21,00	53,97677
12:30	21,16	20,54	21,21	54,32501
12:45	20,93	20,32	21,34	53,16422
13:00	20,70	20,11	21,42	51,88735
13:15	20,62	20,04	21,62	50,84263
13:30	20,55	19,93	21,81	53,86069

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
13:45	20,66	20,09	22,15	49,44968
14:00	20,77	20,19	22,55	50,4944
14:15	20,84	20,25	23,16	51,19087
14:30	20,79	20,20	22,95	51,19087
14:45	20,72	20,13	22,37	51,88735
15:00	20,61	20,03	22,14	50,95871
15:15	20,42	19,77	21,81	56,76267
15:30	20,29	19,66	21,70	55,02148
15:45	20,30	19,66	21,52	55,36972
16:00	20,30	19,70	21,52	52,23558
16:15	20,28	19,65	21,56	54,32501
16:30	20,17	19,54	21,73	55,36972
16:45	20,13	19,50	21,71	54,32501
17:00	19,69	19,45	21,68	21,47463
17:15	18,27	19,40	21,77	Sistema inoperante
medição	18/10/2014			
09:15	19,76	20,02	20,91	Sistema inoperante
09:30	19,63	19,83	20,88	13,11694
09:45	19,95	19,87	24,00	91,93463
10:00	20,16	20,32	23,87	93,67581
10:15	20,58	20,65	23,62	98,55113
10:30	20,40	20,79	24,00	97,50642
10:45	21,53	20,99	25,00	134,3035
11:00	23,26	21,43	26,46	128,9638
11:15	23,90	21,97	27,41	107,6053
11:30	24,51	22,55	28,37	105,5159
11:45	23,13	22,88	28,76	100,8727
12:00	22,99	22,86	28,10	63,49525
12:15	23,91	22,89	27,52	53,97677
12:30	25,38	22,97	27,41	54,32501
12:45	26,25	23,15	27,05	53,16422

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
13:00	26,01	23,28	26,40	51,88735
13:15	25,76	23,51	26,18	50,84263
13:30	25,59	23,78	25,72	53,86069
13:45	25,02	23,39	25,27	49,44968
14:00	25,34	23,59	25,85	50,4944
14:15	25,06	23,75	24,95	51,19087
14:30	24,15	23,35	23,83	51,19087
14:45	23,53	23,22	23,47	51,88735
15:00	22,97	23,14	23,27	50,95871
15:15	22,40	23,09	22,88	56,76267
15:30	21,55	22,83	20,91	55,02148
15:45	21,10	22,44	20,81	55,36972
16:00	20,89	22,22	20,69	52,23558
16:15	20,65	22,14	20,65	54,32501
16:30	20,54	22,16	20,68	55,36972
16:45	20,48	22,00	20,97	54,32501
17:00	20,97	22,08	21,74	21,47463
17:15	21,22	22,05	22,70	Sistema inoperante
medição	19/10/2014			
09:15	18,56	18,66	18,68	Sistema inoperante
09:30	18,63	18,71	18,82	13,11694
09:45	18,66	18,72	18,76	91,93463
10:00	18,66	18,72	18,78	93,67581
10:15	18,72	18,72	18,73	98,55113
10:30	18,78	18,73	18,80	97,50642
10:45	18,89	18,78	18,93	134,3035
11:00	19,06	18,88	19,32	128,9638
11:15	19,46	19,24	19,98	107,6053
11:30	19,31	19,35	19,58	105,5159
11:45	19,24	19,25	19,64	100,8727
12:00	19,45	19,32	20,12	63,49525

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
12:15	19,50	19,39	20,21	53,97677
12:30	19,54	19,44	20,09	54,32501
12:45	19,58	19,45	19,90	53,16422
13:00	19,61	19,51	20,05	51,88735
13:15	19,68	19,60	20,41	50,84263
13:30	20,04	19,71	21,48	53,86069
13:45	20,69	20,09	22,39	49,44968
14:00	20,74	20,30	22,28	50,4944
14:15	20,28	20,30	21,36	51,19087
14:30	20,18	20,21	21,09	51,19087
14:45	20,34	20,24	21,34	51,88735
15:00	20,69	20,36	22,30	50,95871
15:15	21,29	20,68	23,86	56,76267
15:30	21,46	20,93	23,29	55,02148
15:45	21,78	21,11	23,87	55,36972
16:00	21,88	21,24	23,36	52,23558
16:15	21,46	21,30	23,03	54,32501
16:30	21,31	21,30	22,94	55,36972
16:45	21,38	21,33	22,86	54,32501
17:00	21,02	21,23	22,30	21,47463
17:15	20,87	21,19	22,37	Sistema inoperante
medição	20/10/2014			
08:57	19,97	21,32	20,93	Sistema inoperante
09:12	21,30	20,08	20,47	106,3284
09:27	20,50	19,48	21,49	89,38089
09:42	20,58	19,48	21,83	95,30092
09:57	21,53	20,27	21,80	109,6947
10:12	21,97	20,68	22,43	111,552
10:27	21,89	20,55	22,96	117,2399
10:42	21,77	20,42	23,50	117,7042
10:57	21,70	20,34	23,84	118,7489

Tabela 2 - continuação

	água		Ar	
Hora	Temp. entrada	Temp. saída	temp entrada	kWh
11:12	22,38	20,86	24,52	132,2141
11:27	23,75	21,85	24,58	165,4127
11:42	23,28	21,55	24,57	150,4385
11:57	21,65	20,19	24,44	126,8744
12:12	21,76	20,32	24,21	125,9458
12:27	23,66	21,86	24,65	156,7067
12:42	24,45	22,58	24,78	163,3233
12:57	24,84	22,92	24,98	167,5021
13:12	23,77	22,01	25,33	152,9922
13:27	21,75	20,30	25,09	125,8297
13:42	20,49	19,30	25,05	102,8461
13:57	19,56	18,57	25,32	85,66636
14:12	19,49	18,54	25,58	82,88046
14:27	19,53	18,58	25,37	82,18398
14:42	19,42	18,47	25,86	82,88046
14:57	19,24	18,27	25,24	84,27341
15:12	18,18	19,40	28,36	Sistema inoperante
15:27	18,64	20,25	28,56	Sistema inoperante
15:42	19,35	20,53	29,05	Sistema inoperante
15:57	19,83	20,80	29,56	Sistema inoperante
16:12	20,09	21,06	29,90	Sistema inoperante
16:27	20,81	21,24	29,37	Sistema inoperante
16:42	21,53	21,38	28,72	13,34909
16:57	21,90	21,52	27,95	32,96646
17:12	22,62	21,69	27,31	80,79103
17:27	23,07	21,88	27,79	103,4265
17:42	23,97	22,00	26,38	171,3327
17:56	23,86	21,93	24,25	168,0825

Considerando que as máquinas de ar condicionado são projetadas para uma troca de 5,5 °C na condensação a água (CARRIER) , fez-se o cálculo da vazão de água necessária para o calor dissipado pelo sistema de ar condicionado, a

partir da tabela 2, cujos resultados são apresentados no quadro 18.

Quadro 18 – Cálculo da vazão necessária para suprir calor dissipado pelos condensadores.					
	Temperaturas Médias		Calor dissipado		Vazão calculada m ³ /h
Hora	entrada	saída	Kcal/h	DT média	para DT=5,5°C
08:30	21,04	20,78	27885,44	0,26	5,07008
08:45	21,13	20,76	29301,65	0,37	5,327573
09:00	21,30	20,91	67300,05	0,39	12,23637
09:15	21,71	20,81	73942,29	0,90	13,44405
09:30	22,12	21,13	72326,61	0,99	13,15029
09:45	22,76	21,79	70451,63	0,97	12,80939
10:00	22,84	21,90	75318,61	0,94	13,69429
10:15	23,18	22,17	88343,79	1,01	16,06251
10:30	24,00	22,82	105677,44	1,18	19,21408
10:45	25,00	23,59	106834,35	1,41	19,42443
11:00	25,35	23,92	107273,17	1,43	19,50421
11:15	25,42	23,98	111322,35	1,43	20,24043
11:30	25,33	23,84	102266,56	1,49	18,59392
11:45	24,77	23,40	92692,16	1,37	16,85312
12:00	24,10	22,86	98935,47	1,24	17,98827
12:15	24,44	23,12	111262,51	1,32	20,22955
12:30	25,24	23,75	115810,35	1,49	21,05643
12:45	25,51	23,97	117266,45	1,55	21,32117
13:00	25,59	24,02	110364,91	1,57	20,06635
13:15	25,21	23,73	103084,37	1,48	18,74261
13:30	24,61	23,23	96322,45	1,38	17,51317
13:45	24,25	22,97	96322,45	1,29	17,51317
14:00	24,27	22,99	98775,89	1,29	17,95925
14:15	24,41	23,09	98017,92	1,32	17,82144
14:30	24,39	23,08	99553,81	1,31	18,10069
14:45	24,39	23,06	102126,93	1,33	18,56853
15:00	24,40	23,03	72526,08	1,37	13,18656
15:15	24,33	23,36	71508,80	0,97	13,0016
15:30	24,65	23,69	78290,67	0,96	14,23467
15:45	24,88	23,84	74081,92	1,05	13,46944
16:00	24,86	23,87	75358,51	0,99	13,70155
16:15	24,76	23,75	83656,32	1,01	15,21024
16:30	24,79	23,67	85371,73	1,12	15,52213
16:45	24,58	23,44	48370,67	1,14	8,794667
17:00	24,01	23,37	48047,333	0,65	8,735879