

ESTUDO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ POR MEIO DE *RETROFIT* DE SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR DE SETOR HOSPITALAR

Douglas Fellipe dos Santos (*), Andrea Teresa Riccio Barbosa, José Carlos Jesus-Lopes, Luiz Miguel Renda dos Santos

* Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar um estudo sobre redução de emissão de CO₂ por meio de *retrofit* de sistema de condicionamento de ar de setor Hospitalar. A metodologia utilizada foi composta de quatro etapas, sendo elas o diagnóstico energético, o estudo de viabilidade técnica, o estudo de viabilidade econômica e por último a mensuração da redução de gases do efeito estufa, divididos em dois cenários, um com o funcionamento dos sistemas de condicionamento de ar 10 horas por dia e 22 dias por mês e o segundo cenário com o funcionamento do sistema por 24 horas por dia e 30 dias por mês. Concluiu-se que tanto o primeiro quanto o segundo cenário são benéficos para o meio ambiente pois possibilitam a redução de emissão de gases do efeito estufa. Entretanto, do ponto de vista econômico, o primeiro cenário não é viável pois o *payback* ficou em 14 anos com TIR anual de -13%, já o segundo cenário mostrou-se viável com *payback* de 4,3 anos e TIR de aproximadamente 9%.

PALAVRAS-CHAVE:

Eficiência energética, hospital, condicionamento de ar.

INTRODUÇÃO

O ambulatório geral do Hospital Universitário Maria Aparecida Pedrossian (HUMAP) foi o local de estudo do *retrofit* das instalações de condicionamento de ar. O Ambulatório Geral atende basicamente os serviços ambulatoriais, sendo composto de um corpo técnico de 50 funcionários, dentre eles técnicos administrativos, secretárias, médicos, enfermeiros e alunos. Este setor é responsável por cerca de 500 consultas diárias, atendendo não só o município de Campo Grande, como as cidades próximas a capital e disponibiliza áreas como: salas de exame, recepção, copas, salas de espera, salas de aula, salas de repouso, secretaria, depósitos, salas de assistência social, entre outros. Assim há grande demanda de funcionário e circulação intensa de pacientes. Por esta grande demanda de pessoas foi escolhido o ambulatório geral para este estudo de caso, que possui regime normal de funcionamento de segunda a sexta das 7h00min às 17h00min.

Uma pesquisa realizada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) nos anos de 2005 e 2006, envolvendo 141 hospitais/clínicas pelas 5 regiões do Brasil, mostra que em termos de idade das instalações, 63,3% dos hospitais possuem mais de 10 anos, com média de 24 anos. Ainda segundo PROCEL (2006), os hospitais/clínicas mais antigos apresentam maiores potenciais de implantação de medidas de melhoria da eficiência energética em função da defasagem tecnológica.

Os equipamentos condicionadores de ar representam grande parte do consumo de energia elétrica de um hospital. Segundo Silveira (2008) o sistema de condicionamento de ar corresponde a 44% de toda a energia elétrica consumida em um hospital, conforme pode ser observado na Figura 1. Somado a isto, os equipamentos condicionadores de ar de hospitais de instalações antigas utilizam ainda, como fluido de trabalho, os hidroclorofluocarbonetos (HCFC), gás com potencial de destruição da camada de ozônio (ODP, do inglês Ozone Depletion Potential) e gás com potencial de aquecimento global (GWP, do inglês Global Warming Potential). Em 1990 o Brasil ratificou o protocolo de Montreal, com o objetivo da redução e eliminação de Substâncias que Destroem a camada de Ozônio (SDOs), culminando no cronograma exibido na Tabela 1, onde observa-se que a partir de 2030 deverá haver redução de 97,5% do consumo e até o 2040 tem-se a meta de eliminação total do consumo desses fluidos refrigerantes.

Tabela 1 - Cronograma de eliminação dos HCFCs no Brasil

Ano	Ação
2013	Congelamento do consumo dos HCFCs (Média do consumo de 2009 e 2010)
2015	Redução de 10% do consumo

2020	Redução de 35% do consumo
2025	Redução de 67,5% do consumo
2030	Redução de 97,5% do consumo
2040	Eliminação do consumo

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017)

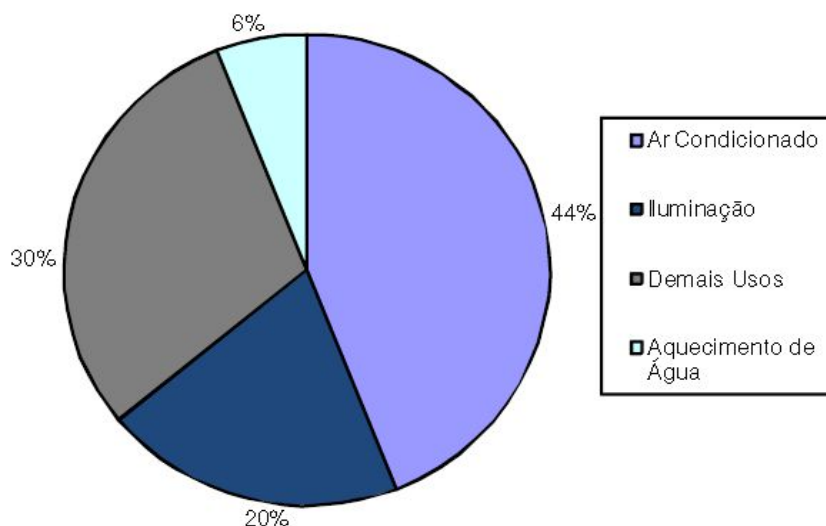


Figura 1 - Perfil de consumo de energia elétrica de Hospitais Brasileiros. Fonte: Silveira, 2008

Os equipamentos condicionadores de ar existentes no ambulatório geral são basicamente equipamentos de janela e splits que utilizam como fluido refrigerante o HCFC R22. Estes tipos de equipamentos, além de serem ineficientes energeticamente, não possibilitam a renovação de ar e controles de filtragem exigidos nas legislações em vigor. Neste sentido, como critérios para o estudo técnico foram consideradas as legislações vigentes referentes a saúde como Nota Técnica nº8 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a Portaria 3523 de 1998 do Ministério da Saúde, a Norma ABNT NBR 7256/2005, além dos protocolos internacionais na qual o Brasil faz parte, como o Protocolo de Kyoto e Protocolo de Montreal. No que tange à escolha do sistema de condicionamento de ar, que, com base nas considerações explicitadas na Tabela 2, o tipo de equipamento definido foi o de Vazão de Fluido Variável (Variable Refrigerant Flow, VRF) de uma marca brasileira. Como critério de viabilidade econômica foram utilizados indicadores econômicos como o *payback*, e o TIR, para verificar se o *retrofit* é economicamente viável.

Tabela 2 - Tipos de sistemas de condicionamento de ar e parâmetros sanitários exigidos em legislação

Características	Janela	Split (hi-wall/Piso-teto)	VRF (dutado)
Conforto térmico	✓	✓	✓
Nível de filtragem do ar adequada	X	X	✓
Renovação de ar	X	X	✓
Nível de pressão	X	X	✓
Pode ser utilizado em áreas críticas?	X	X	✓
Pode ser utilizado em áreas não críticas/semi-críticas?	✓	✓	✓

Legenda: ✓ = conforme; X = não conforme

No critério ambiental, no que tange à mensuração da quantidade de redução de gases do efeito estufa, foram utilizados, como referência, os índices de emissão de CO₂ por MWh de energia elétrica gerada, obtidos no balanço energético nacional do ano de 2015, realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE). Para mensuração da quantidade de emissão de CO₂ equivalente, com a carga de gás R22 existente nas instalações de condicionamento de ar no setor em estudo no HUMAP, foram utilizados dados de DANFOSS (2017) e LINDE GAS (2017).

METODOLOGIA

As atividades deste trabalho são divididas em quatro etapas, conforme Figura 2, sendo a primeira o diagnóstico energético dos equipamentos condicionadores de ar para a obtenção de dados referentes às características técnicas como: a potência de refrigeração, a potência elétrica, o tipo de equipamento e o tempo de uso.

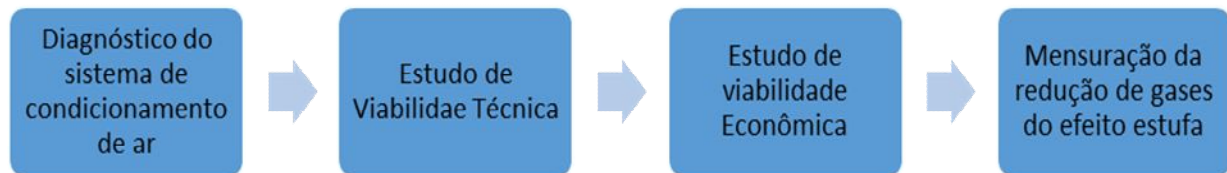


Figura 2 - Fluxo de atividades do trabalho

A segunda etapa refere-se ao estudo de viabilidade técnica do *retrofit* do sistema de condicionamento de ar, com análise e definição do sistema de condicionamento que atenda a legislação vigente, tanto em relação à saúde, quanto ambientalmente. Neste sentido, para essa definição são obtidos dados referentes às tecnologias existentes, nas principais fabricantes do mercado. Considerando-se dados como o Coeficiente de Performance (COP) dos equipamentos de ar condicionado, os fluidos refrigerantes utilizados e a aplicação destes equipamentos na realidade do HUMAP. Após a seleção do sistema de condicionamento de ar foram simulados o consumo do sistema proposto, sendo considerado 2 diferentes cenários.

Na terceira etapa foi realizado o estudo de viabilidade econômica. Desta forma, fez-se o levantamento de custo do sistema selecionado, o seu custo de implantação e os indicadores econômicos que definem a viabilidade econômica do *retrofit*, como *payback*, e TIR, conforme Equações 2 e 3.

Em relação aos dois cenários criados, no primeiro é considerado o regime normal de funcionamento, 10h por dia e 22 dias por mês. Já no segundo cenário é considerado o funcionamento da instituição 24h por dia e 30 dias por mês.

O consumo estimado de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar existente e do sistema proposto é calculado conforme a Equação 1, onde P é a potência elétrica dos equipamentos condicionadores de ar e T é o tempo que os mesmos permanecem ligados.

$$E = P \cdot T \text{ (equação 1)}$$

O *payback* (P), é calculado conforme Equação 2, onde I é o aporte de investimento e R é o retorno deste investimento em um determinado período.

$$P = I/R \text{ (equação 2)}$$

A taxa Interna de Retorno (TIR) é dada conforme Equação 3, onde FC_t é o valor presente das entradas de caixa, I_0 é o investimento inicial, t é o tempo de desconto de cada entrada de caixa e n é o tempo de desconto do último fluxo de caixa.

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \text{ (equação 3)}$$

Por fim, para a estimativa da economia anual, foi utilizado a Equação 4, onde E_e é a economia anual de energia elétrica em Reais (R\$), E_{im} é o consumo mensal de energia elétrica em kWh, E_{fm} é o consumo estimado depois das ações de eficiência energética em kWh, C_e é o custo da energia em R\$/kWh, obtido na fatura de energia elétrica.

$$E_e = \left| \sum_{t=1}^{12} (E_{im} - E_{fm}) \times C_e \right| \text{ (equação 4)} \quad [4]$$

É considerado também a quantia 139,6 kg de CO₂ por 1 MWh de geração de energia elétrica, conforme especificado por EPE (2016). Desta forma, a mensuração da redução de gases do efeito estufa se dá conforme a Equação 5.

$$R_{CO_2 \text{ energia}} = \frac{E_e \times 139,6}{1000} \text{ (equação 5)}$$

É considerado também a quantia 1810 kg de CO₂ por kg R22, conforme especificado por LINDE GAS (2017) e DANFOSS (2017). Desta forma, a mensuração da redução de gases do efeito estufa, por meio do *retrofit* do sistema de condicionamento de ar, é dado conforme Equação 6.

$$R_{CO_2 \text{ gas refrigerante}} = \text{Peso}_{\text{gas R22}} \times 1810 \text{ (equação 6)}$$

RESULTADOS

Chegou-se ao resultado que a substituição dos equipamentos condicionadores de ar individuais existentes, por um sistema VRF, com o ambulatório operando nas condições do primeiro cenário, tem-se uma redução estimada de consumo de energia elétrica de 48.512 kWh/ano. Ou seja, o equivalente a uma redução de emissão de 6.772 kg de CO₂. Com o *retrofit* obtém-se também a possibilidade de eliminação de emissão de 23,75 kg de gás R22 na atmosfera, equivalente a 42.988 kg de CO₂, em caso de eventual vazamento ou de procedimento executado de maneira inadequada. Já no segundo cenário há a redução de 158.768 kWh de energia elétrica, o equivalente a 22.164 kg de CO₂. Os valores podem ser observados na Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 3 - Consumo estimado do sistema existente no cenário 1

Sistema Atual (Ambulatório Geral)											
Tempo de Operação médio dos Aparelhos (horas)											10
Número de Dias do Mês de Funcionamento dos aparelhos											30
Custo médio da Energia da Unidade Consumidora (R\$/MWh)											R\$ 383,00
Tipo de Equipamento (Aparelho tipo Janela / Split)	Capacidade dos Aparelhos de Ar Condicionado Existentes										
	LG	MIDEA	CONSUL	SPRINGER	ELGIN	ELECTRA	GREE	YORK	ELGIN	LG	
	7500	9000	12000	18000	24000	30000	60000	Total			
BTU											
Quantidade	30	2	1	1	1	1	1	1	2	1	41
Classificação PROCEL	B	D	C	C	E	B	D	D	D	D	
Potência dos aparelhos (KW)	0,76	1,01	0,92	1,247	2,6	2,33	2,6	3,2	3,2	6,66	
Potência Total (KW)	22,8	2,02	0,92	1,247	2,6	2,33	2,6	3,2	6,4	6,66	50,78
Energia Consumida (kWh/ano)	60192	5332,8	2428,8	3292,08	6864	6151,2	6864	8448	16896	17.579,76	134.048,64
Custo da Energia gasta por ano (R\$)											51.340,63

Tabela 4 - Consumo estimado do sistema proposto - cenário 1

Sistema Proposto (Ambulatório Geral)	
Tempo de Operação médio dos Aparelhos (horas)	10
Número de Dias do Mês de Funcionamento dos aparelhos	22
Custo médio da Energia da Unidade Consumidora (R\$/MWh)	383,00
Tipo de Equipamento (VRF) CARRIER, modelo: 40MZB480	40 - TR
Quantidade	1
Potência dos aparelhos (KW)	32,4
Potência Total (KW)	32,4
Energia Consumida (kWh/ano)	85.536
Custo da Energia gasta por ano (R\$)	32.760,29
Resultados Obtidos	
Redução de Potência (Kw)	18,376
Energia Conservada (kWh/ano)	48.512,64
Economia (%)	36,19%
Economia anual de Energia (R\$)	18.580,34

Tabela 5 – Consumo estimado do sistema existente no cenário 2

Sistema Atual (Ambulatório Geral)	
-----------------------------------	--

Tempo de Operação médio dos Aparelhos (horas)											24
Número de Dias do Mês de Funcionamento dos aparelhos											30
Custo médio da Energia da Unidade Consumidora (R\$/MWh)											R\$ 383,00
Tipo de Equipamento (Aparelho tipo Janela / Split)	Capacidade dos Aparelhos de Ar Condicionado Existentes										
	LG	MIDEA	CONSUL	SPRINGER	ELGIN	ELECTRA	GREE	YORK	ELGIN	LG	
	7500	9000		12000	18000	24000		30000		60000	Total
	BTU										
Quantidade	30	2	1	1	1	1	1	1	2	1	41
Classificação PROCEL	B	D	C	C	E	B	D	D	D	D	
Potência dos aparelhos (KW)	0,76	1,01	0,92	1,247	2,6	2,33	2,6	3,2	3,2	6,66	
Potência Total (KW)	22,8	2,02	0,92	1,247	2,6	2,33	2,6	3,2	6,4	6,66	50,78
Energia Consumida (kWh/ano)	196992	17452,8	7948,8	10774,08	22464	20131,2	22464	27648	55296	57.533,76	438.704,64
Custo da Energia gasta por ano (R\$)											R\$ 168.023,88

Tabela 6 - Consumo estimado do sistema proposto - cenário 2

Sistema Proposto (Ambulatório Geral)	
Tempo de Operação médio dos Aparelhos (horas)	24
Número de Dias do Mês de Funcionamento dos aparelhos	30
Custo médio da Energia da Unidade Consumidora (R\$/MWh)	383,00
Tipo de Equipamento (VRF) CARRIER, modelo: 40MZB480	40 - TR
Quantidade	1
Potência dos aparelhos (KW)	32,4
Potência Total (KW)	32,4
Energia Consumida (kWh/ano)	279.936
Custo da Energia gasta por ano (R\$)	107.215,49
Resultados Obtidos	
Redução de Potência (Kw)	18,376
Energia Conservada (kWh/ano)	158.768,64
Economia (%)	36,19%
Economia anual de Energia (R\$)	60.808,39

Os fluxos de caixa referentes ao primeiro e ao segundo cenário estão representados na Figura 3 e na Figura 4. No primeiro cenário, o *payback* foi de 14 anos e no segundo de 4,3 anos, com taxas internas de retorno de -13% e 9% respectivamente.

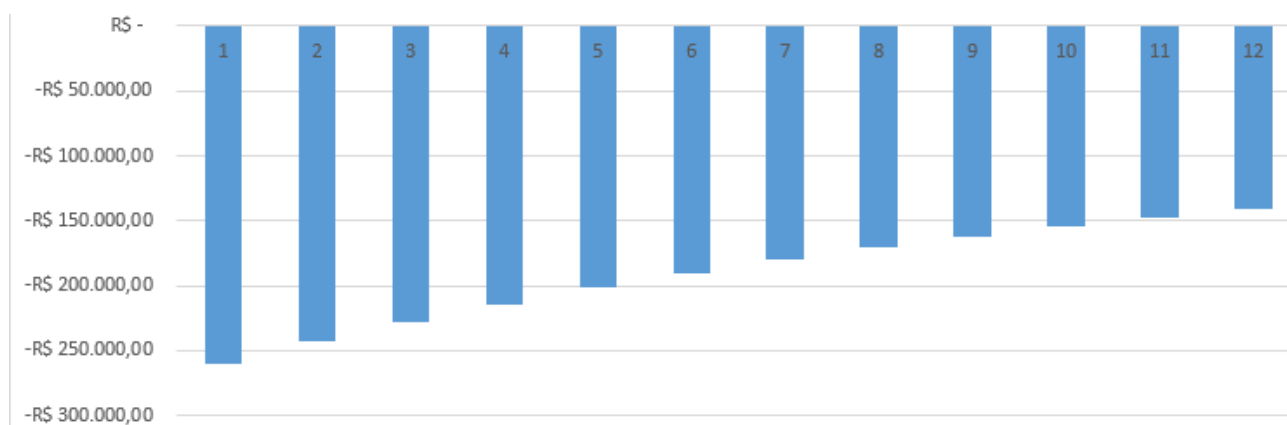


Figura 3 - Fluxo de caixa acumulado referente ao primeiro cenário

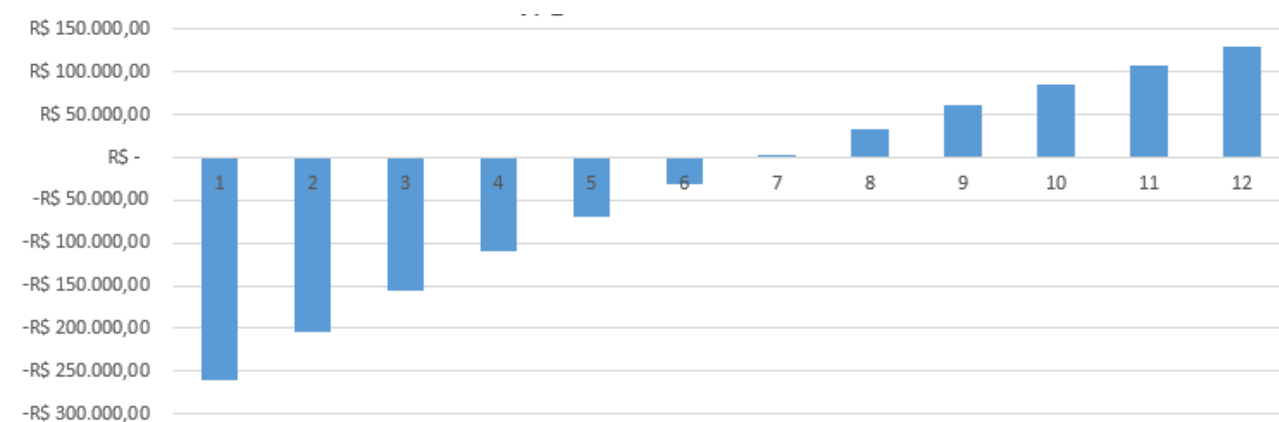


Figura 4 - Fluxo de caixa acumulado referente ao segundo cenário

CONCLUSÃO

Conclui-se que o *retrofit* no aspecto técnico é viável, uma vez que a infraestrutura referente a demanda de energia elétrica do sistema proposto é menor do que a do sistema existente. Outro aspecto relevante é que o gás utilizado no sistema VRF (HFC 407C) é um gás ecológico sem potencial de destruição da camada de ozônio que atende aos protocolos de Montreal e de Kyoto.

No primeiro cenário, em relação ao aspecto econômico, conclui-se que o *retrofit* não é viável economicamente uma vez que o *payback* ficou em 14 anos, a TIR anual ficou em -13%, ou seja, abaixo da taxa de atratividade mínima de 10,34%. No aspecto ambiental chegou-se à conclusão que a substituição dos equipamentos condicionadores de ar individuais existentes por um sistema VRF resulta em uma redução estimada de consumo de energia elétrica de 48.512 kWh/ano, ou seja, o equivalente a uma redução de emissão de 6772 kg de CO₂ por ano na atmosfera.

No segundo cenário, com *payback* de 4,3 anos e TIR de 9%, conclui-se com este valor que há proximidade com a taxa de atratividade considerado 10,34%. Desta forma, esta proposta seria bastante atraente diante da economia de energia proporcionada e da diminuição de CO₂ emitida no meio ambiente. Outro aspecto relevante seria a redução do custo de manutenção uma vez que com um sistema VRF (centralizado) a quantidade de manutenção é reduzida em relação ao sistema descentralizado composto de várias unidades.

Conclui-se também que, em ambos os casos, o *retrofit* elimina a possibilidade de emissão de 23,75 kg de gás R22, equivalente a 42.988 kg de CO₂, na atmosfera em caso de eventuais vazamentos ou procedimentos executados de maneiras inadequadas nos equipamentos condicionadores existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CADDET - Centre For The Analysis And Dissemination Of Demonstrated Energy Technologies. (1997). **Saving Energy With Energy Efficiency In Hospitals**. Sittard, Holanda.
2. Danfoss. (2017, Junho 14). Danfoss - Engineering of tomorrow. *Programa de treinamento em resfriador de líquido (Chiller)*. Danfoss. Retrieved from <https://danfoss.sabahosted.com/Saba/Web/Main>
3. Empresa de Pesquisa Energética. (2016). *Balanco Energético Nacional*. Rio de Janeiro.



4. Gas, L. (2017, 07 05). **Linde Gas**. Retrieved from Refrigerants Environmental Data - Linde Gas: http://www.linde-gas.com/internet.global.lindegas.global/en/images/Refrigerants%20environmental%20GWPs17_111483.pdf
5. Google. (2017, 06 20). **Google Maps**. Retrieved from <https://www.google.com.br/maps/@-20.4989568,-54.6156803,473m/data=!3m1!1e3>
6. Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2009, 05 05). **Seminário: Governo e sociedade a caminho da eliminação dos HCFCs**. Retrieved 06 24, 2017, from http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_arquivos/apresentao_magna_pdf.pdf
7. Ministério do Meio Ambiente (MMA). (2017, 06 18). Retrieved from <http://www.mma.gov.br/informma/item/615-programa-brasileiro-de-elimina%C3%A7%C3%A3o-dos-hcfc>
8. Ministério do Meio Ambiente. (2017, 06 25). **Fluidos refrigerantes alternativos aos HCFCs**. Retrieved from http://www.mma.gov.br/estruturas/ozonio/_arquivos/roberto_peixoto_130.pdf
9. PROCEL. (2006). **Relatório setorial: hospitais / clínicas**. <http://www.procelinfo.com.br/services/procel-info/Simuladores/DownloadSimulator.asp?DocumentID=%7BCF09272C%2D0917%2D42B0%2DB8D2%2D7B05AB3F3A1C%7D&ServiceInstUID=%7B5E202C83%2DF05D%2D4280%2D9004%2D3D59B20BEA4F%7D>
10. Silva, J. G. (2010). **Introdução à Tecnologia da Refrigeração e da Climatização**. São Paulo: Artliber.
11. Silveira, A. H. (2008, Maio). **Avaliação do potencial de conservação de energia no setor hospitalar da região sul do Brasil**. *Dissertação de mestrado*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul: Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul.