

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA – ÊNFASE ELETROTÉCNICA

DIEGO RODRIGO DE FREITAS NOGUEIRA
JOÃO RICARDO FERREIRA BUZZATTO
RAFAEL KENJI RIBEIRO SUZUKI

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
INSTALAÇÃO DE UMA BOMBA DE CALOR NO PROCESSO DE
PINTURA DA ELECTROLUX DO BRASIL, PLANTA GUABIROTUBA,
CURITIBA/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2014

DIEGO RODRIGO DE FREITAS NOGUEIRA
JOÃO RICARDO FERREIRA BUZZATTO
RAFAEL KENJI RIBEIRO SUZUKI

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
INSTALAÇÃO DE UMA BOMBA DE CALOR NO PROCESSO DE
PINTURA DA ELECTROLUX DO BRASIL, PLANTA GUABIROTUBA,
CURITIBA/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de TCC, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Profª Maria de Fátima R. Raia, Dr. Eng.

CURITIBA

2014

Diego Rodrigo de Freitas Nogueira
João Ricardo Ferreira Buzzatto
Rafael Kenji Ribeiro Suzuki

Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Instalação de uma Bomba de Calor no Processo de Pintura da Electrolux do Brasil, Planta Guabirota, Curitiba/PR

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 24 de fevereiro de 2014.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Maria de Fátima R. Raia, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maria de Fátima R. Raia, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Miguel Olandoski Neto, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

NOGUEIRA, Diego R.; BUZZATTO, João R.; SUZUKI, Rafael K. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Instalação de uma Bomba de Calor no Processo de Pintura da Electrolux do Brasil, Planta Guabirota, Curitiba/PR.** 2013. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A Electrolux possui o programa *Green Spirit*, cujo objetivo é a redução do consumo de fontes de energia, assim como a redução da emissão de gases e agentes prejudiciais ao meio-ambiente. Em parceria com o programa, este estudo analisa a possibilidade da implantação de uma bomba de calor no processo do banho de desengraxante do setor de pintura da fábrica 1 da Electrolux do Guabirota. O estudo é substituir o aquecimento da água, que é feito por um boiler a gás natural, por um sistema de reaproveitamento de calor. O novo sistema propõe a retirada de calor do sistema do chiller de compressão responsável pela climatização da cabine de pintura, diminuindo assim seu trabalho para resfriar a água que troca de calor com o ambiente. A energia térmica é então reaproveitada para o aquecimento da água armazenada no sistema do boiler, que, por sua vez, troca de calor com a água do banho desengraxante. Com o presente estudo, a instalação de uma bomba de calor elimina o consumo de gás natural, estimando-se a redução da emissão de gás metano, CH₄. Por outro lado, o funcionamento da bomba também foi capaz de reduzir o consumo de energia elétrica do chiller. O estudo da utilização da bomba de calor no processo da Electrolux, além de ajudar a atingir as metas do programa *Green Spirit*, demonstra uma grande economia em dinheiro, com um tempo de retorno de investimento próximo a um ano.

Palavras-chave: Bomba de Calor. Electrolux. Eficiência Energética. *Green Spirit*.

ABSTRACT

NOGUEIRA, Diego R.; BUZZATTO, João R.; SUZUKI, Rafael K. **Study of Technical and Economic Feasibility of Installation of a Heat Pump on the Painting Process at Electrolux do Brasil, Guabirota Plant, Curitiba/PR.** 2013. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Electrolux has a program called *Green Spirit*, which the main target is the reduction of energy consumption, as also the reduction of gas emission and detergents that attack the environment. Align with the program, this study analyze the feasibility of installation of a heat pump in the degreaser process at the paint shop of factory 1 at Electrolux of Guabirota. The study is to replace the water heating that uses a natural gas boiler, for a system that reuses heat. The new system proposes the heat removal from the chiller system responsible for the acclimatization of the painting booth, reducing amount of work needed to cool the water that exchange heat with the ambient. So the thermal energy is reused on the water heating of the boiler system that heats the degreaser process water. With this study, the installation of a heat pump eliminates the natural gas consumption, estimating the reduction of methane emission, CH₄. On the other side, the pump operation also able the reduction of the chiller electricity consumption. The study of using the heat pump at Electrolux, besides to help achieve the Green Spirit program targets, shows a great money savings, with a nearly one year payback.

Keywords: Heat Pump. Electrolux. Energy Efficiency. Green Spirit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bomba de calor a compressão.....	35
Figura 2 – Bomba de calor a absorção.	36
Figura 3 – Fontes de calor e formas de captação de energia.	37
Figura 4 – Bomba de calor do tipo Split.	38
Figura 5 – Bomba de calor do tipo Compacta.	38
Figura 6 – Bomba de calor a ar ambiente.	39
Figura 7 – Bomba de calor em lençol freático.	40
Figura 8 – Bomba de calor no solo.....	41
Figura 9 –Exemplo de funcionamento da bomba de calor.	43
Figura 10 – Instalações da Electrolux Guabirota.	58
Figura 11 – Boiler da fábrica 1 da Electrolux do Guabirota.	59
Figura 12 – Trocador de calor do tipo colméia.	59
Figura 13 – Tanque 1 do banho de desengraxante da Fábrica 1.....	60
Figura 14 – Esquema simplificado do sistema de aquecimento do banho de desengraxante.....	60
Figura 15 – Chiller de compressão da cabine de pintura da fábrica 1.....	61
Figura 16 – Torre de resfriamento do chiller.....	62
Figura 17 – Serpentina do sistema de climatização da cabine de pintura.....	62
Figura 18 – Saídas de ar dimensionadas para o correto fluxo de ar na cabine de pintura.	63
Figura 19 - Esquema simplificado do sistema de climatização da cabine de pintura.	65
Figura 20 - Esquema simplificado do sistema proposto.	66
Figura 21 - Balanço de energia do boiler no sistema atual.	70
Figura 22 – Gráfico do Prazo de Retorno de Investimento (PRI).	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidades econômicas recomendadas.....	49
Tabela 2 - Máximo IBUTG para trabalho intermitente.....	55
Tabela 3 - Taxa de metabolismo por tipo de atividade.....	56
Tabela 4 - Composição do gás natural.....	71
Tabela 5 - Resumo do sistema de aquecimento de água	73
Tabela 6 - Resumo do sistema de climatização do setor de pintura	73
Tabela 7 - Performance do chiller	75
Tabela 8 - Projeção de gastos de energia elétrica com o chiller	76
Tabela 9 - Dados técnicos da bomba de calor KWC-S126	77
Tabela 10 - Custo em períodos do sistema de aquecimento atual.....	78
Tabela 11 - Custo em períodos do sistema de resfriamento atual	78
Tabela 12 - Custo em períodos do consumo de energia elétrica da bomba de calor.....	78
Tabela 13 - Custo em períodos do sistema de resfriamento após a instalação da bomba de calor.....	79

LISTA DE ABREVIACOES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA	rea de Preservação Ambiental
APP	rea de Preservação Permanente
ARI	<i>Air-Conditioning & Refrigeration Institute</i> (Instituto de Condicionamento de ar e Refrigeração)
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning</i> (Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar)
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econmico e Social
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Brasil
CMC	Câmara Municipal de Curitiba
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNUDS	Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento sustentável
CO ₂	Dióxido de Carbono (Gás Carbnico)
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Coeficiente de Performance
DSJI	<i>Dow Jones Sustainability Index</i> (ndice de Sustentabilidade Dow Jones)
EA	Engenharia e Arquitetura
HPC	Engenharia e Arquitetura
IBAMA	<i>Heat Pump Centre</i> (Centro de Bomba de Calor)
IBUTG	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MEC	Ministério da Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OGM	Norma Regulamentadora

ONU	Organismos Modificados
PNMA	Organização das Nações Unidas
PNEA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Programa Nacional de Educação Ambiental
PVC	Política Nacional de Recursos Hídricos
SEMA	Policloreto de Vinila
SESI	Secretaria Nacional de Meio Ambiente
SISNAMA	Serviço Social da Indústria
SNGRH	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SPHAN	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNEP	Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
UNIDO	<i>United Nations Environment Programme</i> (Programa Ambiental das Nações Unidas)
USDE	<i>United Nations Industrial Development Organization</i> (Organização de Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas)
UTFPR	<i>United States Department of Energy</i> (Departamento de Energia dos Estados Unidos)
WWF	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
	<i>World Wide Fund for Nature</i> (Fundo Mundial para a Natureza)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	14
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1 Objetivo Geral.....	15
1.4.2 Objetivos Específicos.....	15
1.5 JUSTIFICATIVA.....	16
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2. ASPECTOS AMBIENTAIS.....	20
2.1 INTRODUÇÃO.....	20
2.2 O RECONHECIMENTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	20
2.2.1 A Rio +20.....	22
2.3 HISTÓRICO DAS LEIS AMBIENTAIS BRASILEIRAS.....	23
2.3.1 Anos 30 a anos 50.....	23
2.3.2 Anos 60.....	23
2.3.3 Anos 70 a início dos anos 80.....	24
2.3.4 Anos 80 a 2013.....	25
2.4 AS 17 LEIS AMBIENTAIS DO BRASIL.....	26
2.5 GREEN SPIRIT.....	31

3. BOMBA DE CALOR	33
3.1 INTRODUÇÃO À BOMBA DE CALOR.....	33
3.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR	34
3.2.1 Bomba de Calor a Compressão.....	34
3.2.2 Bomba de Calor a Absorção.....	35
3.3 CLASSIFICAÇÃO DA BOMBA DE CALOR	36
3.3.1 Quanto à fonte de calor	36
3.3.2 Quanto ao número de unidades	37
3.4 FONTES DE CALOR	38
3.4.1 Ar Ambiente.....	39
3.4.2 Água	40
3.4.3 Solo	41
3.4.4 Processos industriais.....	41
3.5 COEFICIENTE DE PERFORMANCE DA BOMBA DE CALOR (COP)	42
3.5.1 Fatores que afetam o COP	43
3.6 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALOR.....	44
3.6.1 Equações da Calorimetria	44
3.7 CASOS DE SUCESSO	45
4. NORMATIZAÇÃO	47
4.1 ABNT NBR 16401-1:2008 INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO – SISTEMAS CENTRAIS E UNITÁRIOS. PARTE 1: PROJETOS DAS INSTALAÇÕES.....	47
4.1.1 Critérios de seleção dos equipamentos principais.....	48

4.1.2	Instalações de água gelada, água quente e água de condensação.....	48
4.1.3	Cálculo de Carga Térmica	50
4.2	NR 12 – MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS.....	50
4.2.1	Quanto ao arranjo físico e instalações de máquinas	51
4.2.2	Quanto à instalação elétrica de máquinas e equipamentos	51
4.2.3	Quanto aos dispositivos de partida, acionamento e parada	52
4.2.4	Quanto aos componentes pressurizados	53
4.3	NR 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES	53
5.	ESTUDO DO CASO ELECTROLUX	57
5.1	A ELECTROLUX DO BRASIL.....	57
5.2	AQUECIMENTO DO BANHO DE DESENGRAXANTE.....	58
5.3	CLIMATIZAÇÃO DA CABINE DE PINTURA.....	61
5.4	O MODELO PROPOSTO.....	65
5.5	O CONSUMO DE GÁS NATURAL.....	66
5.6	O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	67
5.7	DIMENSIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR	67
5.7.1	Cálculo da quantidade de energia para o aquecimento da água.....	68
5.7.2	Cálculo do rendimento da queima de gás natural	69
5.7.3	Cálculo da quantidade de energia disponível no sistema do chiller	70
5.8	EMISSÃO DE GASES POLUENTES	71
5.9	RESUMO DO SISTEMA ATUAL	72
5.10	DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE PERFORMANCE E POTÊNCIA ELÉTRICA DA BOMBA DE CALOR	73

5.11	CÁLCULO DA ENERGIA REAPROVEITADA DO SISTEMA.....	74
5.12	CÁLCULO DO GASTO DO CHILLER DE COMPRESSÃO	75
5.13	BOMBA DE CALOR A SER INSTALADA	76
5.14	ANÁLISE DE CUSTOS E RETORNO DE INVESTIMENTO.....	77
5.14.1	Resumo dos custos operacionais do sistema atual.....	77
5.14.2	Resumo dos custos do sistema proposto.....	78
5.14.3	Custos da implementação do estudo proposto e cálculo da economia anual.....	79
5.14.4	Cálculo do prazo de retorno de investimento (PRI).....	80
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
	REFERÊNCIAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

A diversificação dos vários tipos de energia presentes atualmente tornou-se um dos aspectos mais importantes para o desenvolvimento humano e tecnológico, entretanto não há mais como falar em desenvolvimento se ele não for utilizado de maneira a não comprometer os recursos do planeta, provendo integração entre economia, sociedade e meio ambiente (RIO +20, 2013).

Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética, desenvolvido pelo Ministério de Minas Energia, os ganhos em eficiência energética são provenientes de duas parcelas. Uma que se dá por iniciativa do mercado, ou seja, ocorre de forma espontânea através de novas tecnologias, que produzem o mesmo serviço de forma mais eficiente, sendo esta referente ao progresso autônomo. E outra, dependente de políticas públicas, conhecida por progresso induzido (MME, 2013).

O setor industrial, que adota o progresso autônomo como medida de desenvolvimento, tem investido em soluções mais eficientes para suas atividades, não só para a redução de custos, mas também para reduzir o impacto ao meio ambiente.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Com o objetivo de se tornar uma empresa mundialmente reconhecida pela preocupação com o meio ambiente, a Electrolux criou em 2008 o programa “Green Spirit” (Espírito Verde), que visa atingir metas de redução do consumo de energia, do uso da água, de produtos químicos e emissões de CO₂ (SILVA, 2013). Com a ajuda desse programa a Electrolux sustenta a nomeação de líder em sustentabilidade do setor de Produtos de Domicílio Duráveis feita pelo *DJSI World Dow Jones Sustainability World Index* (Indicador Mundial de Sustentabilidade Dow Jones), que abrange 2.500 empresas de grande porte. A empresa tem sido incluída neste indicador desde o ano de 1999, sendo 2012 o sexto ano consecutivo que é

nomeada líder da categoria. De acordo com Keith McLoughlin, presidente mundial da Electrolux (GROUP ELECTROLUX, 2013):

“A Electrolux deseja ser a indústria líder em sustentabilidade. Uma das maneiras de medirmos isso é através do DJSI World. Ser novamente incluído neste indicador confirma que a Electrolux está no caminho certo na maneira que desenvolvemos produtos e dirigimos nossos negócios.”

Na planta Guabirota da Electrolux do Brasil, Curitiba/PR, o processo de pintura utiliza resistências elétricas e gás natural para aquecer a água e as diversas estufas, deixando assim a temperatura ambiente do setor da pintura elevada se comparada com outras áreas da fábrica.

O presente estudo propõe a análise técnica e econômica da instalação de uma bomba de calor a fim de recuperar parte do calor do setor da pintura, reaproveitando-o para realizar o aquecimento da água do banho de desengraxante das peças da metalurgia. Assim, o estudo visa melhorar as condições de trabalho dos operadores e reduzir o consumo de energia, colaborando com o programa Green Spirit.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

A produção na planta Guabirota da Electrolux do Brasil é dividida em duas partes principais, fábrica 1 e fábrica 2. O processo de pintura se inicia quando as peças vindas da metalurgia são penduradas no transportador para serem limpas ao passarem por um banho de desengraxante a 40°C. Em seguida, passam por estufas de secagem para então entrarem nas cabines de pintura a fim de receber a tinta. Após isso, elas seguem para as estufas de secagem da tinta finalizando o processo, e são enviadas para as linhas de montagem.

Na fábrica 1, o aquecimento do banho de desengraxante é indireto e feito por meio de um boiler, que consome mensalmente uma média de 11.100 m³ de gás natural para aquecer a água entre 50 e 55°C que passa por um trocador de calor do tipo colméia, que por sua vez, aquece o líquido do banho de desengraxante. Como existe muito calor envolvido no processo, a área em volta da pintura possui uma

elevada temperatura se comparada a outros lugares da fábrica, causando desconforto para os operadores e gastos para a empresa com sistemas de refrigeração de ambiente.

O desafio do estudo consiste em analisar se a bomba de calor é um equipamento eficaz para ajudar a reduzir a temperatura ambiente do setor da pintura e transferir esse calor para o aquecimento do banho do desengraxante, proporcionando assim um sistema eficiente e sustentável, de acordo com as metas do programa Green Spirit.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade técnica e econômica da instalação de uma bomba de calor para reduzir a temperatura ambiente no setor de pintura, aproveitando esse calor para aquecer o banho do desengraxante na planta Guabirota da Electrolux do Brasil.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Traçar um breve histórico do desenvolvimento sustentável no mundo, apresentar as principais normas e leis relacionadas ao meio ambiente e à eficiência energética, além de apresentar o programa Green Spirit da Electrolux;
- estudar a tecnologia utilizada na bomba de calor e seu funcionamento;
- estudar os tipos diferentes de bombas de calor e cálculos utilizados para a sua implantação;
- buscar as normas regulamentadoras no que tange à segurança do trabalho adequadas para o ambiente industrial;
- apresentar o estudo do processo utilizado na fábrica 1;

- estudar o tipo de bomba de calor mais adequada para ser implementada no processo;
- calcular a quantidade de calor necessária para aquecer o banho do desengraxante e dimensionar a bomba de calor, avaliando o seu impacto na climatização do setor da pintura;
- calcular a economia do consumo de energia e a consequente redução de emissão de gases poluentes na atmosfera e;
- estudar a viabilidade econômica nos moldes da Electrolux do Brasil e o ganho ambiental do estudo.

1.5 JUSTIFICATIVA

Objetivando a melhoria nas condições de trabalho do setor da pintura, será avaliado se a inclusão de uma bomba de calor é econômica e ambientalmente eficiente para proporcionar aos operadores uma temperatura de trabalho adequada. A partir disto, deseja-se reaproveitar esta energia e utilizá-la no processo de aquecimento de água do banho de desengraxante estimulando a redução do consumo de gás natural e da emissão de gases poluentes para a atmosfera.

A Electrolux do Brasil, dentro do programa Green Spirit, busca reduzir o consumo de energia e a emissão de gases para a atmosfera. Por isso, ela incentiva ações ambientalmente corretas que vão de encontro com esse programa. O estudo propõe uma solução para um problema do processo produtivo, dando eficiência ao consumo de energia e diminuindo o impacto ambiental.

A idéia de crescimento econômico através do consumo crescente de energia e insumos naturais passou a ser insustentável, pois demanda de recursos essenciais para a humanidade (WWF-BRASIL, 2013). A UNEP *United Nations Environment Programme* (Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas) junto com a UNIDO *United Nations Industrial Development Organization* (Organização de Desenvolvimento Industrial das Nações Unidas) promovem o termo “Cleaner Production” (Produção mais limpa), que consiste na contínua aplicação de estratégias econômico-ambientais para o aumento da eficiência dos processos

industriais e conseqüente redução dos riscos ao meio ambiente e a humanidade (UNEP, 2013).

O presente estudo multidisciplinar incentiva a atualização sobre a frequente preocupação governamental com o impacto ambiental, conseqüente do desenvolvimento humano e tecnológico. Atualmente, o engenheiro eletricitista deve possuir o conhecimento e o intuito da busca por novas fontes de energia e processos de reaproveitamento desta, visando a redução dos impactos ambiental, econômico e social.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa bibliográfica sobre o desenvolvimento sustentável no Brasil e as principais normas e leis relacionadas ao meio ambiente e à eficiência energética será realizada por meio de livros, sites, artigos e teses. O programa Green Spirit da Electrolux será apresentado com base nos livros, sites e nas informações passadas pelos representantes da empresa. Tanto as tecnologias existentes de bombas de calor, bem como o seu funcionamento e tipos diferentes, serão pesquisadas a partir de catálogos de fabricantes, sites, livros, artigos e teses. Quanto as normas brasileiras e regulamentadoras à respeito da segurança do trabalho, serão pesquisadas no site oficial na internet.

O estudo do caso será conduzido com o acompanhamento dos profissionais responsáveis pelo Green Spirit na empresa e com os fornecedores de bombas de calor, para que se atinja os resultados técnico e econômico esperados em conformidade com os moldes da Electrolux. O estudo tratará da junção das informações adquiridas, sobre o tipo mais adequado de bomba de calor, em qual das fábricas será feito o trabalho, levando em conta a relevância e prioridade para a empresa, e os cálculos da quantidade de calor necessária para o processo.

Em todas as etapas do estudo, é imprescindível o direcionamento por parte do professor orientador, o qual auxiliará no delineamento do trabalho a fim de manter-se concreto com os ideais de ensino da UTFPR.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será estruturado em 6 capítulos, da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução

Trata-se do capítulo introdutório deste trabalho, evidenciando o tema a ser abordado, o problema objeto da análise, os procedimentos do estudo e os resultados esperados.

Capítulo 2 – Aspectos Ambientais

Este capítulo tratará do histórico do desenvolvimento sustentável no mundo, bem como as normas e leis relacionadas ao meio ambiente e à eficiência energética. Será apresentado o programa Green Spirit da Electrolux.

Capítulo 3 – Bomba de Calor

O terceiro capítulo abordará as tecnologias e o princípio de funcionamento da bomba de calor, sua aplicação e cálculos de calorimetria utilizados para sua implantação.

Capítulo 4 – Normatização

Neste capítulo, serão apresentadas as normas regulamentadoras a respeito da segurança do trabalho no ambiente industrial.

Capítulo 5 – Estudo do caso Electrolux

No estudo deste caso será definido o tipo mais adequado de bomba de calor a ser implementada, bem como em qual das fábricas será efetuado o estudo. Efetuar-se-á o cálculo da energia em forma de calor de todo o sistema disponível para troca, a economia no consumo de energia e a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera. Será apresentada a análise da viabilidade econômica nos moldes da Electrolux e os ganhos ambientais propostos.

Capítulo 6 – Considerações Finais

Este capítulo final trará a análise da eficiência da bomba de calor proposta pelo estudo e os possíveis ganhos econômicos e ambientais. Também sugestionará a possibilidade de implementação da bomba em aplicações semelhantes.

REFERÊNCIAS

Apresentará a relação de livros, teses, publicações, revistas, artigos, jornais, catálogos e sites da internet utilizados para o embasamento do trabalho.

2. ASPECTOS AMBIENTAIS

2.1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que o aumento do impacto ambiental global é fruto do desenvolvimento humano e tecnológico. Em paralelo ao projeto apresentado, destaca-se a preocupação da Electrolux do Brasil em reduzir a emissão de gás carbônico na atmosfera, assim como a diminuição da queima de gás natural no processo de pintura em uma de suas fábricas.

O objetivo deste capítulo é mostrar em que momento o mundo veio a se preocupar com o desenvolvimento sustentável, as principais discussões internacionais relacionadas ao meio ambiente, e por fim, as atitudes que foram tomadas para reverter o quadro mundial resultante da degradação ambiental.

Após discorrida e traçada a situação global referente à sustentabilidade, será apresentado o programa Green Spirit da Electrolux, que tem como objetivo trazer o reconhecimento da empresa não só pelo sucesso internacional de vendas de eletrodomésticos, mas também pela preocupação com o meio ambiente.

2.2 O RECONHECIMENTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Por muitos anos, permaneceu ausente ao homem a preocupação com o esgotamento dos recursos que a natureza oferecia, pois esta não era notável por sua grandiosidade, mas sim pelos benefícios econômicos que trazia.

O crescimento populacional fez com que o mundo demandasse mais dos recursos naturais na medida em que os padrões materiais se tornavam mais altos. A expansão da capacidade humana induziu a revolução industrial, que por sua vez, promoveu o crescimento econômico e ofereceu ao homem uma melhor qualidade de vida.

Em consequência dos novos padrões de vida que haviam se criado, o mundo começou a questionar a permanência dos recursos e riquezas naturais que

possuía, assim surgiram diversos conceitos a favor do meio ambiente e sua sustentabilidade através da renovação natural (SANTOS; VALENÇA, 2011).

Além dos conceitos, diversos movimentos nasceram, e o primeiro foi a Conferência de Estocolmo, ocorrida em 1972, sendo a primeira a alarmar o mundo sobre o uso desenfreado dos recursos naturais.

Momentaneamente, houve um conflito entre o crescimento econômico e a sustentabilidade, pois acreditava-se que para o mundo se desenvolver, era necessário abrir mão da “qualidade ambiental”. Conforme Santos e Valença (2011), em consequência dos diversos questionamentos criados pela Conferência de Estocolmo, a ONU (Organização das Nações Unidas) criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ou Comissão de Brundtland, que era formada por especialistas de diversos países.

Todas as análises obtidas pela Comissão de Brundtland foram publicadas em um relatório publicado em 1987, chamado de “Nosso Futuro Comum”. Neste relatório, conhecido por Relatório de Brundtland, havia questões semelhantes as que foram ditas na Conferência de Estocolmo. Porém, criou-se o conceito do desenvolvimento sustentável: O Desenvolvimento Sustentável é aquele que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades.

Poucos anos depois, influenciada pelo Relatório de Brundtland, o Brasil se tornou palco da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cnumad), também conhecida por Rio 92, Eco 92 ou Cúpula da Terra. O objetivo da nova Conferência era discutir os resultados obtidos, assim como implementar o conceito de desenvolvimento sustentável no mundo (BARBOSA, 2008).

Após a virada do século, notou-se que a humanidade continuava a explorar descontroladamente os recursos naturais, sendo estes limitados e indispensáveis para a sobrevivência humana na terra. A insistência da falta de preocupação com o desenvolvimento sustentável no mundo, em paralelo com os 20 anos da Rio 92, trouxeram à tona uma nova Conferência criada pelas Nações Unidas, a Rio +20, também conhecida por Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento sustentável (CNUDS), ocorrida na cidade do Rio de Janeiro, em 2012 (ONU, 2012).

2.2.1 A Rio +20

O objetivo da Rio +20 era renovar o compromisso que o mundo tinha com o desenvolvimento sustentável, e trouxe diversos resultados positivos, sendo os principais (ONU, 2012):

- Economia verde – De acordo com os especialistas, a aplicação da Economia Verde tanto em países desenvolvidos, como em países em desenvolvimento geraria um aumento de empregos e conseqüentemente um progresso econômico. Em paralelo a isto, lutaria contra as principais causas do aquecimento global.
- Energia Sustentável para todos – Consiste no desenvolvimento de planos e programas energéticos para atingir três metas até 2030: assegurar o acesso à energia, dobrar a eficiência energética e também o compartilhamento de energia renovável no mundo.
- Transporte Sustentável – Liderada pelo Banco Asiático de Desenvolvimento, foi uma das principais iniciativas, e rendeu investimentos no valor de 175 bilhões de dólares até 2020 para apoiar o transporte sustentável em países em desenvolvimento. A ideia da iniciativa era obter um transporte com baixa emissão de gás carbônico na atmosfera.
- Desenvolvimento Sustentável e Educação – Mais de 200 grandes escolas econômicas e universidades do mundo todo firmaram compromisso para incluir questões de sustentabilidade ao ensino.
- Segurança Alimentar e Agricultura Sustentável – Foi lançado o “Desafio Fome Zero”, que tinha como objetivo dar acesso a uma alimentação adequada à todas as pessoas. O Reino Unido prometeu aproximadamente 254 milhões de dólares para ajudar pequenos agricultores a alimentar milhões de pessoas.

De fato, os números comprovam que a Rio +20 foi a maior Conferência envolvendo desenvolvimento sustentável de todos os tempos, porém, ainda há muitos desafios a se enfrentar pelo mundo: como a pobreza, a falta de acesso à eletricidade, o crescimento das emissões anuais globais de dióxido de carbono, entre outros (ONU, 2012).

2.3 HISTÓRICO DAS LEIS AMBIENTAIS BRASILEIRAS

2.3.1 Anos 30 a anos 50

Com a forte expansão cafeeira na década de 30, as florestas passaram a ficar cada vez mais distantes das cidades, ocasionando assim na dificuldade e encarecimento da obtenção de lenha, principal combustível da época. Devido a isso, em 1934 foram criados o Código das Águas, que estabelecia os princípios para aproveitamento das águas no país, e o Código Florestal (Decreto 23.793/34), que obrigava aos proprietários de terras a manter 25% de suas áreas com a vegetação original (EM DISCUSSÃO, 2011).

A década seguinte foi marcada pelo anseio do crescimento econômico em todo o mundo, devido ao fim da Segunda Guerra Mundial e o início da guerra entre os governos capitalista e comunista, conhecida como Guerra Fria. No Brasil particularmente, a administração dos recursos naturais era denominada aos órgãos públicos, que ao mesmo tempo se dedicavam às atividades utilizadoras de recursos naturais (MEC, 2013).

2.3.2 Anos 60

Ao passo que crescia o uso de novos combustíveis e fontes de energia, a lenha foi deixando de ter importância econômica no Brasil e, paralelamente, crescia no país a consciência da preservação do meio ambiente. Assim, no ano de 1965, juntamente com a instalação da ditadura militar, o Código Florestal de 1934 foi alterado pela Lei Federal 4771/65, visando o conceito de proteção e reserva de recursos naturais para o uso no futuro (EM DISCUSSÃO, 2011). O novo código também criou as Áreas de Preservação Permanentes (APP's) e a necessidade da autorização do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) para a exploração de florestas. Outras importantes leis desse período são:

- Código de Minas (Decreto-lei 227/67), que impõe condições para o direito a pesquisa e utilização dos bens minerais.
- Código de Pesca (Decreto-lei 221/67), que dispõe sobre a proteção e o estímulo à atividade pesqueira.
- Lei de Proteção à Fauna Silvestre (Lei 5197/67), que discorre a respeito da proteção à fauna brasileira.

2.3.3 Anos 70 a início dos anos 80

Em 1973 o Brasil criou a Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA), como resposta às recomendações propostas pela Conferência de Estocolmo, realizada em 1972. A SEMA passou a centralizar os programas de controle ambiental e complementar a legislação referente ao meio ambiente. Como sequência desses fatos, cabe a menção das seguintes leis publicadas no período:

- Decreto-lei nº 1.413 de 14 de agosto de 1975, que dispõe sobre o controle de poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais, regulamentado pelo Decreto nº 76.389 de 03 de outubro de 1975.
- Lei nº 6.803, de 02 de julho de 1980, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, tais como polos petroquímicos, cloroquímicos, carboquímicos e instalações nucleares.
- Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que instituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) visando harmonizar o desenvolvimento socioeconômico e o meio ambiente, mediante a adoção de condições para o desenvolvimento sustentável, tendo como órgão consultivo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que teria como função o estabelecimento das normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos. Esta lei também instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), considerada um

grande marco na história da legislação ambiental brasileira (JURISAMBIENTE, 2013).

Tanto o Decreto-Lei nº 1.413/1975, como a Lei nº 6.803/1980, foram concebidos devido aos graves problemas de poluição do ar em regiões com grandes parques industriais, como Cubatão, em São Paulo. O objetivo é estabelecer regras para a localização de áreas industriais e as limitações de uso em seus entornos, não tratando especificamente de limites de emissão (JÚNIOR, 2007).

2.3.4 Anos 80 a 2013

Os anos 80 assistiram a uma forte mudança de concepção da relação do homem com o meio ambiente, com a criação de Unidades de Conservação federais e Estaduais e a complementação da legislação ambiental, que assume estrutura política (MEC, 2013).

Em 1988 a legislação ambiental atinge um patamar importantíssimo sendo abordada na Constituição Federal, contemplando seu conceito normativo referente ao meio ambiente natural, artificial, cultural, ambiente do trabalho e patrimônio genético (JURISAMBIENTE, 2004).

Neste período é importante ressaltar as seguintes leis (CETESB, 2013):

- Resolução CONAMA 005/89, que instituiu o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar, visando a limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica.
- Decreto Legislativo nº 91, de 15 de dezembro de 1989, que aprova os textos da Convenção de Viena para a proteção da camada de ozônio, de 1985, e do Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio, de 1987.
- Decreto Federal nº 99.280, de 06 de junho de 1990, que está relacionado à promulgação da Convenção de Viena para a proteção da camada de ozônio e do Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio.
- Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993, que dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores.

- Decreto Federal de 19 de setembro de 1995 (revogado pelo Decreto de 06 de março de 2003), que cria o Comitê Executivo Interministerial com a finalidade de estabelecer diretrizes e coordenar as ações relativas à proteção da camada de ozônio.
- Lei nº 9433/97, referente à Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), que adotou como fundamento o fato das águas serem um recurso natural limitado e de domínio público.
- Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, (Lei de Crimes Ambientais), que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. A Lei de Crimes Ambientais reordenou a legislação ambiental brasileira no que se refere às infrações e punições (BRASIL GOV, 2013).
- Lei nº 9795/99, que instituiu o Programa Nacional de Educação Ambiental (PNEA) de forma obrigatória em todos os níveis de ensino.
- Decreto nº 5.280, de 22 de novembro de 2004, que promulga os textos das emendas ao Protocolo de Montreal sobre substâncias que destroem a camada de ozônio, aprovadas em Montreal, em 17 de setembro de 1997, ao término da Nona Reunião das Partes, e, em Pequim, em 3 de dezembro de 1999, por ocasião da Décima Primeira Reunião das Partes.
- Resolução nº 3.894, de 17 de agosto de 2010, que institui no âmbito do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC).

2.4 AS 17 LEIS AMBIENTAIS DO BRASIL

A legislação ambiental brasileira é uma das mais avançadas do mundo. Todas as ações e atividades que são consideradas como crimes ambientais podem ser punidas com multas, sejam pessoas físicas ou jurídicas (AGÊNCIA BRASIL, 2011). Segue a relação das 17 principais leis ambientais brasileiras (PORTAL DO MEIO AMBIENTE, 2013):

Lei da Ação Civil Pública – nº 7.347 de 24/07/1985

Lei de interesses difusos, trata da ação civil pública de responsabilidades por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor e ao patrimônio artístico, turístico ou paisagístico.

Lei dos Agrotóxicos – nº 7802 de 10/07/1989

A lei regulamenta desde a pesquisa e fabricação dos agrotóxicos até sua comercialização, aplicação, controle, fiscalização e também o destino da embalagem.

Exigências impostas:

- obrigatoriedade do receituário agrônomo para venda de agrotóxicos ao consumidor;
- registro de produtos nos Ministérios da Agricultura e da Saúde;
- registro no IBAMA;

Lei da Área de Proteção Ambiental – nº 6.902 de 27/04/1981

Lei que criou as Estações Ecológicas, áreas representativas de ecossistemas brasileiros, sendo que 90% delas devem permanecer intocadas e 10% podem sofrer alterações para fins científicos. Foram criadas também as “Áreas de Proteção Ambiental” ou APAs, áreas que podem conter propriedades privadas e onde o poder público limita as atividades econômicas para fins de proteção ambiental.

Lei das Atividades Nucleares – nº 6.453 de 17/10/1977

Dispõe sobre a responsabilidade civil por danos nucleares e a responsabilidade criminal por atos relacionados com as atividades nucleares. Determina que se houver um acidente nuclear, a instituição autorizada a operar a instalação tem a responsabilidade civil pelo dano, independente da existência de culpa. Em caso de acidente nuclear não relacionado a qualquer operador, os danos serão assumidos pela União. Esta lei classifica como crime produzir, processar,

fornecer, usar, importar ou exportar material sem autorização legal, extrair e comercializar ilegalmente minério nuclear, transmitir informações sigilosas neste setor, ou deixar de seguir normas de segurança relativas à instalação nuclear.

Lei de Crimes Ambientais – nº 9.605 de 12/02/1998

Reordena a legislação ambiental brasileira no que se refere às infrações e punições. A pessoa jurídica, autora ou co-autora da infração ambiental, pode ser penalizada, chegando à liquidação da empresa, se ela tiver sido criada ou usada para facilitar ou ocultar um crime ambiental. A punição pode ser extinta caso se comprove a recuperação do dano ambiental.

Lei da Engenharia Genética – nº 8.974 de 05/01/1995

Esta lei estabelece normas para aplicação da engenharia genética, desde o cultivo, manipulação e transporte de organismos modificados (OGM), até sua comercialização, consumo e liberação no meio ambiente. A autorização e fiscalização do funcionamento das atividades na área, bem como da entrada de qualquer produto geneticamente modificado no país é de responsabilidade dos Ministérios do Meio Ambiente, da Saúde e da Agricultura. Toda entidade que usar técnicas de engenharia genética é obrigada a criar sua Comissão Interna de Biossegurança, que deverá, entre outros, informar trabalhadores e a comunidade sobre questões relacionadas à saúde e segurança nesta atividade.

Lei da Exploração Mineral – nº 7.805 de 18/07/1989

Esta lei regulamenta as atividades garimpeiras. Para estas atividades é obrigatória a licença ambiental prévia, que deve ser concedida pelo órgão ambiental competente. Os trabalhos de pesquisa ou lavra, que causarem danos ao meio ambiente são passíveis de suspensão, sendo o titular da autorização de exploração dos minérios responsável pelos danos ambientais. A atividade garimpeira executada sem permissão ou licenciamento é crime.

Lei da Fauna Silvestre – nº 5.197 de 03/01/1967

A lei classifica como crime o uso, perseguição, apanha de animais silvestres, caça profissional, comércio de espécies da fauna silvestre e produtos derivados de sua caça, além de proibir a introdução de espécie exótica (importada) e a caça amadorística sem autorização do Ibama. Criminaliza também a exportação de peles e couros de anfíbios e répteis em bruto.

Lei das Florestas – nº 4.771 de 15/09/1965

Determina a proteção de florestas nativas e define como áreas de preservação permanente (onde a conservação da vegetação é obrigatória) uma faixa de 30 a 500 metros nas margens dos rios, de lagos e de reservatórios, além de topos de morro, encostas com declividade superior a 45 graus e locais acima de 1.800 metros de altitude. Também exige que propriedades rurais da região Sudeste do país preservem 20 % da cobertura arbórea, devendo tal reserva ser averbada em cartório de registro de imóveis.

Lei do Gerenciamento Costeiro – nº 7.661 de 16/05/1988

Define as diretrizes para criar o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, ou seja, define o que é zona costeira como espaço geográfico da interação do ar, do mar e da terra, incluindo os recursos naturais e abrangendo uma faixa marítima e outra terrestre. Permite aos estados e municípios costeiros instituírem seus próprios planos de gerenciamento costeiro, desde que prevaleçam as normas mais restritivas. Este gerenciamento costeiro deve obedecer as normas do CONAMA.

Lei da criação do IBAMA – nº 7.735 de 22/02/1989

Criou o IBAMA, incorporando a SEMA e as agências federais na área de pesca, desenvolvimento florestal e borracha. Ao IBAMA compete executar a política nacional do meio ambiente, atuando para conservar, fiscalizar, controlar e fomentar o uso racional dos recursos naturais.

Lei do Parcelamento do Solo Urbano – nº 6.766 de 19/12/1979

Estabelece as regras para loteamentos urbanos, proibidos em áreas de preservação ecológicas, naquelas onde a poluição representa perigo à saúde e em terrenos alagadiços.

Lei Patrimônio Cultural – decreto-lei nº 25 de 30/11/1937

Lei que organiza a Proteção do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, incluindo como patrimônio nacional os bens de valor etnográfico, arqueológico, os monumentos naturais, além dos sítios e paisagens de valor notável pela natureza ou a partir de uma intervenção humana. A partir do tombamento de um destes bens, ficam proibidas sua demolição, destruição ou mutilação sem prévia autorização do Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN).

Lei da Política Agrícola – nº 8.171 de 17/01/1991

Coloca a proteção do meio ambiente entre seus objetivos e como um de seus instrumentos. Define que o poder público deve disciplinar e fiscalizar o uso racional do solo, da água, da fauna e da flora, realizar zoneamentos agroecológicos para ordenar a ocupação de diversas atividades produtivas, desenvolver programas de educação ambiental, fomentar a produção de mudas de espécies nativas, entre outros.

Lei da Política Nacional do Meio Ambiente – nº 6.938 de 17/01/1981

É a lei ambiental mais importante e define que o poluidor é obrigado a indenizar danos ambientais que causar, independentemente da culpa. O Ministério Público pode propor ações de responsabilidade civil por danos ao meio ambiente, impondo ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar prejuízos causados. Esta lei criou a obrigatoriedade dos estudos e respectivos relatórios de Impacto Ambiental.

Lei de Recursos Hídricos – nº 9.433 de 08/01/1997

Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Define a água como recurso natural limitado, dotado de valor

econômico, que pode ter usos múltiplos (consumo humano, produção de energia, transporte, lançamento de esgotos). A lei prevê também a criação do Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos para a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

Lei do Zoneamento Industrial nas Áreas Críticas de Poluição – nº 6.803 de 02/07/1980

Atribui aos estados e municípios o poder de estabelecer limites e padrões ambientais para a instalação e licenciamento das indústrias, exigindo o Estudo de Impacto Ambiental.

2.5 GREEN SPIRIT

Em um meio de crescente concorrência e pressão por melhores resultados operacionais, as indústrias de bens de consumo procuram encontrar formas de enfrentar a competição industrial que hoje é global. As tendências de mercado sinalizam um cenário de alta competitividade nos preços deste segmento industrial, devido à contínua entrada de eletrodomésticos asiáticos. Com isso, a Indústria precisa fazer frente a esse movimento, com a redução de custos para se manter a frente dos concorrentes no mercado global. A preocupação com o meio ambiente, a redução dos custos e aumento da produtividade são uma busca constante das organizações.

Deste modo, a Electrolux mundial criou o programa Green Spirit, que visa a implementação de soluções focadas na eficiência energética e sustentabilidade ambiental, com iniciativas de sustentabilidade, redução de custos e de desperdícios. Este programa demonstra os esforços da empresa para manter o reconhecimento de ser uma organização que se preocupa com o meio ambiente. O programa tem como pilares: economizar energia, poupar água, reduzir a emissão de CO₂.

A meta estabelecida foi a redução de 15% em kWh / unidade produzida de consumo de energia de 2008 a 2012 e redução de 20% em m³ / produto no consumo

de água de 2010 a 2014. Em 2012 ela foi atingida e o desafio de mais 15% de redução até 2015 foi lançado.

Com o objetivo de reconhecer as plantas que demonstram maiores esforços para a implementação do Green Spirit, anualmente é feita uma auditoria de certificação. Para isso, foram criados níveis de certificação, são eles: Bronze, Prata, Ouro e Platina. Para cada um desses níveis devem ser realizadas ações recomendadas pelo programa, tais como iluminação, otimização de ar comprimido e reparo de vazamentos, redução da pressão de ar comprimido, gerenciamento de desligamentos em períodos sem atividades, etc (DLUGOSZ, 2012).

Para o ano de 2012, foi estabelecido que todas as plantas industriais no Brasil devessem atingir à certificação Ouro do programa Green Spirit. Essa meta foi alcançada e para o ano de 2013 as plantas devem manter essa certificação.

3. BOMBA DE CALOR

3.1 INTRODUÇÃO À BOMBA DE CALOR

A bomba de calor é um equipamento que utiliza os princípios de um sistema frigorífico. A grande diferença entre eles está no seu objetivo, o sistema frigorífico visa a retirada de calor de um determinado ambiente, e a bomba de calor a fornecer calor. Sendo assim, a bomba de calor funciona retirando calor de uma fonte a baixa temperatura e o fornece a uma alta temperatura.

Em termos energéticos a tecnologia de bomba de calor é muito eficiente, porém ainda não é amplamente aplicada pelo fato de o investimento ser alto se comparado a outros equipamentos de aquecimento (caldeiras, aquecedores, etc). Para sua aplicação, é necessário que seja feito um estudo de viabilidade econômica para determinar se a bomba de calor é realmente mais vantajosa se comparada a outro sistema.

A primeira aplicação direta de bomba de calor foi feita entre os anos de 1920 e 1930 por um cientista chamado Haldane na Inglaterra. Ele estudou o coeficiente de performance de diversos sistemas frigoríficos instalados na época. Esses estudos o levaram a construir a primeira bomba de calor experimental, que aquecia a calefação e o aquecimento de água para sua casa na Escócia (ELETROBRÁS, 2006).

Em um meio industrial, o uso da bomba de calor pode proporcionar maiores ganhos. Isso se deve ao fato de tanto o aquecimento quanto o resfriamento serem necessários em algumas partes da instalação. Sendo assim, com um único equipamento, é possível resfriar e aquecer ao mesmo tempo, obtendo um sistema eficiente energeticamente.

3.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR

O princípio de funcionamento da bomba de calor é muito semelhante ao de uma máquina frigorífica. Como o próprio nome diz, a bomba de calor funciona no sentido inverso ao natural do fluxo de calor. Ela opera retirando calor de um meio (temperatura fria) e fornecendo para outro (temperatura quente). Para isso, é necessário que uma parcela de energia seja fornecida para o sistema. Essa parcela pode ser fornecida por um compressor ou por fluidos de trabalho.

3.2.1 Bomba de Calor a Compressão

A bomba de calor a compressão utiliza a compressão mecânica de um fluido de trabalho para alcançar o aumento da temperatura. Este fluido de trabalho normalmente é um fluido refrigerante comum. O compressor pode ser das mais diversas formas, por exemplo, acionados por motores elétricos, turbinas a vapor, motores a combustão, e turbinas a combustão.

A Figura 1 apresenta o esquema de funcionamento da bomba de calor a compressão. O evaporador evapora o fluido de trabalho, o qual é comprimido e tem a sua pressão e temperatura elevadas com a diminuição do volume. Depois ele passa para o condensador que, por meio de transferência de calor, abaixa a temperatura do fluido de trabalho, que se liquefaz e passa pela válvula de expansão. Após isso, ele passa para o evaporador e reinicia o ciclo de trabalho (HPC, 2013).

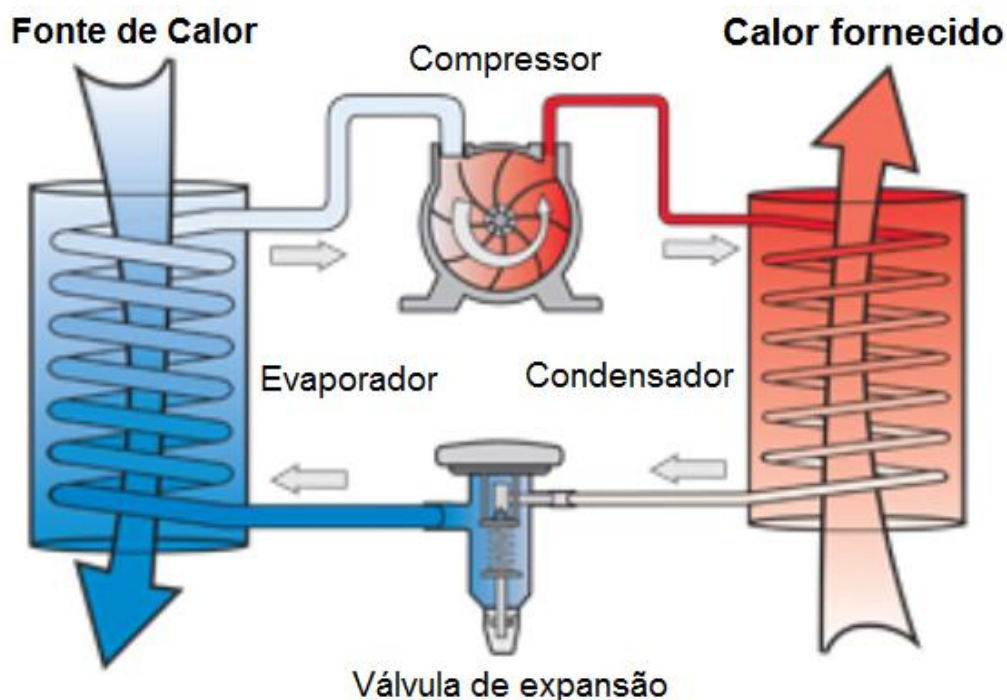


Figura 1 – Bomba de calor a compressão.

Fonte: Adaptado de HPC (2013).

3.2.2 Bomba de Calor a Absorção

A bomba de calor a absorção utiliza um fluido de trabalho de dois componentes e os princípios da elevação do ponto de ebulição e absorção de calor para alcançar e entregar calor a temperaturas elevadas. O princípio de operação é o mesmo que o utilizado nos chillers de absorção, que operam com uma mistura de água com brometo de lítio como seu fluido de trabalho.

A Figura 2 apresenta o esquema de funcionamento da bomba de calor a absorção. Nesse sistema, a compressão do fluido de trabalho é efetuada termicamente no circuito de solução. A solução é bombeada a alta pressão para o gerador, onde o fluido de trabalho entra em ebulição com o fornecimento de calor externo a uma alta temperatura. Ele então é condensado no condensador enquanto o absorvente retorna ao absorvedor pela válvula de expansão. O calor é extraído da fonte de calor pelo evaporador (HPC, 2013).

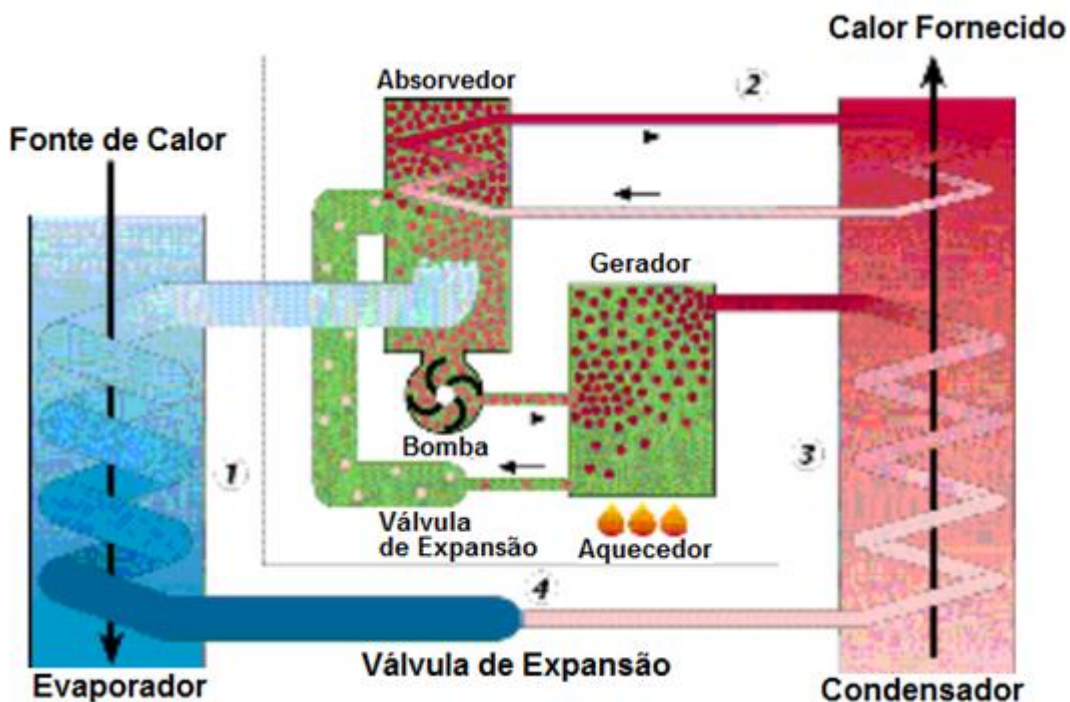


Figura 2 – Bomba de calor a absorção.

Fonte: Adaptado de HPC (2013).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA BOMBA DE CALOR

3.3.1 Quanto à fonte de calor

As bombas de calor são classificadas pelo fluido que fornece calor para o equipamento, seguido pelo fluido receptor de calor. Sendo assim, uma bomba de calor que retira calor do ar para aquecer a água é denominada de bomba de calor ar/água. As denominações mais usuais são: ar/ar, ar/água, água/ar, água/água, solo/ar, solo/água.

A Figura 3 mostra as três fontes disponíveis e algumas das variações utilizadas na captação de energia.

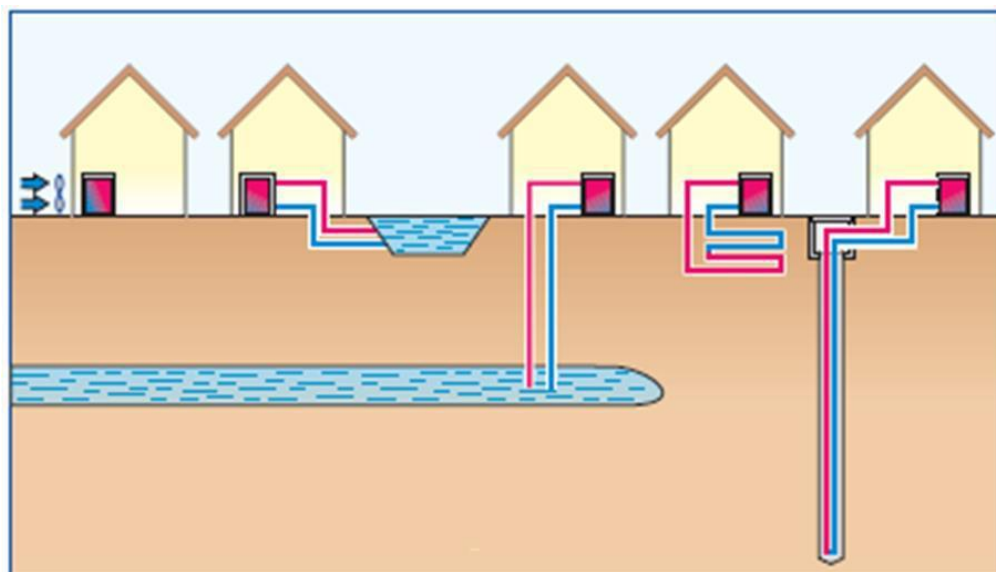


Figura 3 – Fontes de calor e formas de captação de energia.

Fonte: FERREIRA (2010).

Analisando a Figura 3 pode-se distinguir as três fontes de calor: o ar, a água e o solo. O solo é a fonte de calor mais estável, pois em muitos casos é possível que, a alguns metros de profundidade, sua temperatura não varie ao longo do ano. A água também tem um potencial elevado como fonte de calor, porém é preciso ter cuidado para que no lugar onde seja utilizada não corra risco de congelamento. Já o ar ambiente se torna uma fonte de calor suficiente quando em climas moderados, sua vantagem é o custo de instalação ser baixo e por isso é a fonte de calor mais utilizada na tecnologia de bombas de calor (FERREIRA, 2010).

3.3.2 Quanto ao número de unidades

A classificação das bombas de calor quanto ao seu número de unidades se dá pelo fato de haver equipamentos *split* (divididas) e compactos, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5. Os equipamentos compactos possuem apenas uma unidade que engloba todos os estágios de funcionamento. Já as unidades *split* possuem uma unidade interior e outra exterior, sendo normalmente uma condensadora e uma evaporadora (FERREIRA, 2010).



Figura 4 – Bomba de calor do tipo Split.

Fonte: ARCHIPRODUCTS (2013).



Figura 5 – Bomba de calor do tipo Compacta.

Fonte: ARCHIPRODUCTS (2013).

3.4 FONTES DE CALOR

O desempenho técnico e econômico de uma bomba de calor é fortemente relacionado com as características da fonte de calor. Uma fonte de calor ideal deve ter uma temperatura relativamente alta e estável, ser facilmente obtida, não pode

reagir com os elementos constituintes do evaporador, ser limpa, ter boas propriedades termo-físicas, necessitar de poucos investimentos para sua obtenção e ter um baixo custo de utilização.

3.4.1 Ar Ambiente

O ar ambiente não possui características térmicas favoráveis para a utilização como fonte de calor, pois ela está sujeita a grandes variações de temperatura e umidade. Porém, a sua ampla disponibilidade e o baixo custo de instalação tornam o ar ambiente a fonte de calor mais utilizada na calefação em geral.

A energia que é necessária para movimentar o ar que passa entre os trocadores de calor normalmente é menor que 1/20 da energia térmica total que pode ser obtida dessa corrente de ar (ELETROBRÁS, 2006). Contudo, a eficiência e confiabilidade das bombas de calor a ar são criticamente afetadas quando há o congelamento do condensador (quando utilizada em climas frios). A Figura 6 a seguir ilustra uma bomba de calor que tem o ar ambiente como fonte de calor.



Figura 6 – Bomba de calor a ar ambiente.

Fonte: Geothermie Confort (2013).

3.4.2 Água

A água é uma excelente fonte de calor quando disponível em quantidades suficientes. Ela pode estar disponível na forma de lençóis freáticos, rios, lagos e até a água do mar. Porém, é necessário que um estudo minucioso seja feito com as condições da água para evitar possíveis problemas com a corrosão da unidade que retira calor dessa fonte.

A alta capacidade térmica da água faz dela uma fonte de calor de grande potencial. Os lençóis freáticos possuem temperatura estável, porém suas principais desvantagens são o alto custo de instalação e a possibilidade de poluição do solo. Já a água do mar tem uma temperatura constante entre 5°C a 8°C em uma profundidade de 25-50 metros e a temperatura de congelamento é entre 1°C a -2°C. Contudo, o material que compõe a bomba de calor deve ser resistente à corrosão (EA, 2013). A Figura 7 a seguir ilustra uma bomba de calor que tem a água como fonte de calor.



Figura 7 - Bomba de calor em lençol freático.

Fonte: Geothermie Confort (2013).

3.4.3 Solo

O solo pode ser aplicado como uma fonte efetiva de calor, mesmo tendo um nível de calor geotérmico baixo. Ele absorve calor do movimento de águas subterrâneas e da radiação solar. A instalação deve conter tubulações de plástico ou metal e devem ser enterradas a uma profundidade de 0,5 a 2,0 metros. Dependendo da composição do solo é possível retirar em média 25 Watts por metro quadrado (ELETROBRÁS, 2006). A Figura 8 a seguir ilustra uma bomba de calor que tem o solo como fonte de calor.

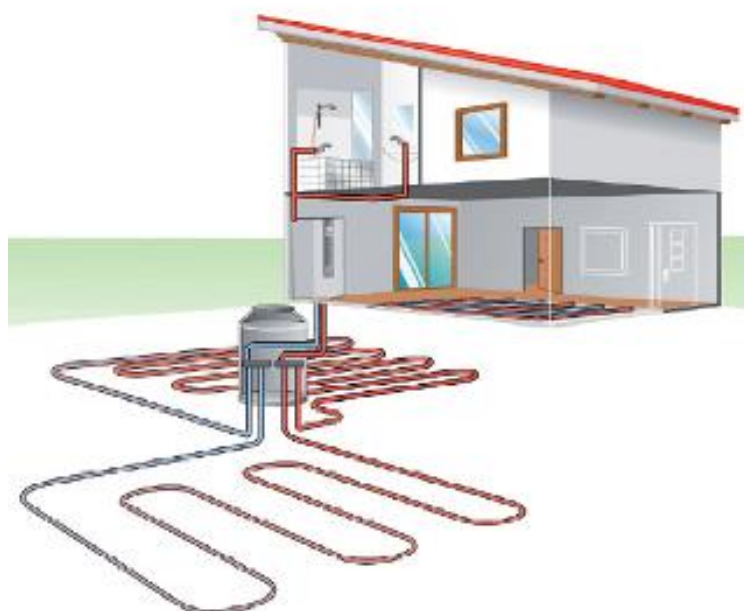


Figura 8 – Bomba de calor no solo.

Fonte: El País (2011).

3.4.4 Processos industriais

No setor industrial a necessidade de aquecimento está presente em qualquer segmento de mercado. Considerando a necessidade de resfriamento, que também é recorrente, pode-se projetar uma bomba de calor com a finalidade de operar nos dois processos. Com isso, o ganho em eficiência energética se torna consideravelmente maior. Outra potencial fonte de calor são os gases provenientes

de combustão, pois muitas vezes eles são descartados para a atmosfera a uma temperatura elevada.

3.5 COEFICIENTE DE PERFORMANCE DA BOMBA DE CALOR (COP)

É possível determinar as relações entre a quantidade de trabalho fornecida para o ciclo, o aumento da temperatura e o calor gerado utilizando um parâmetro conhecido como Coeficiente de Performance (COP_{HP}). Ele é definido pela Equação (1):

$$COP_{HP} = \frac{Q_{out}}{W_{in}} \quad (1)$$

onde Q_{out} é o calor entregue pela bomba de calor e W_{in} é a energia ou trabalho fornecido para o ciclo (USDE, 2013). Para um ciclo de Carnot ideal para a bomba de calor, o COP_{HP} está relacionado com o aumento da temperatura e a temperatura do calor fornecido. A Equação (2) demonstra a relação entre as temperaturas:

$$COP_{HP} = \frac{T_{out}}{T_{out}-T_{in}} \quad (2)$$

onde T_{in} e T_{out} são as temperaturas nas quais a bomba de calor recebe e fornece calor, respectivamente (por exemplo, o evaporador e o condensador). É preciso notar que essas temperaturas não são as do processo no qual será aplicado a bomba de calor, mas temperaturas da operação da bomba de calor. A diferença entre essas temperaturas (do processo e da bomba) devem existir, pois a temperatura da bomba de calor deve ser maior que a do processo para que haja transferência de calor (USDE, 2013).

O método de estimativa apresentado pelas Equações (1) e (2) e pela Figura 9 é adequado para a maioria das bombas de calor acionadas mecanicamente. Para bombas de calor a termocompressão, as relações da quantidade de calor recuperada, quantidade de energia térmica aplicada, e o aumento de temperatura

podem ser determinados por tabelas fornecidas pelos fabricantes de termocompressores.

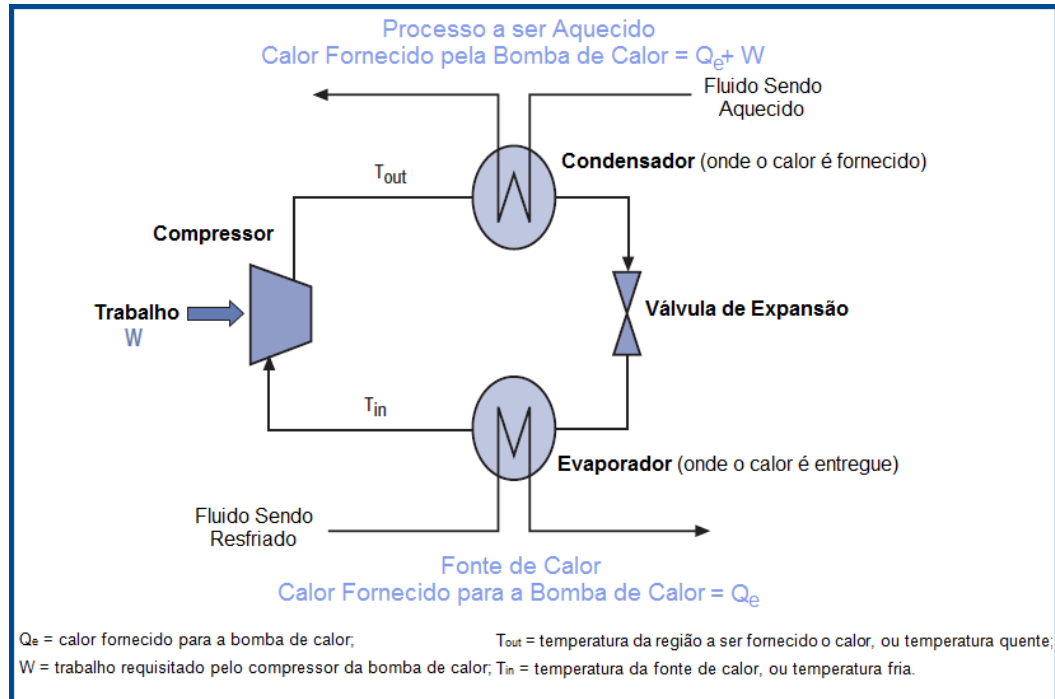


Figura 9—Exemplo de funcionamento da bomba de calor.

Fonte: Adaptado de USDE (2013).

3.5.1 Fatores que afetam o COP

O desempenho da bomba de calor pode ser afetado por fatores que variam de acordo com cada tipo de aplicação (AOKI, 2013). São eles:

- clima – demanda de aquecimento e refrigeração durante o ano;
- temperaturas – da fonte de calor e do processo a ser aquecido pela bomba;
- consumo de energia dos periféricos (bombas e ventiladores);
- padrão técnico da bomba de calor;
- dimensionamento correto da bomba de calor;
- sistema de controle da bomba de calor.

Para garantir um bom funcionamento da bomba de calor, é necessário atenção nos seguintes aspectos:

- dimensionamento – é melhor ter uma instalação pequena com maior número de horas trabalhando do que uma que fique hora ligada, hora desligada;
- reserva – a operação do processo no qual será instalado a bomba de calor deve ter uma alternativa para caso aconteça a quebra da bomba de calor;

3.6 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE CALOR

O dimensionamento de uma bomba de calor depende da quantidade de energia envolvida no processo, tanto na fonte de calor quanto no processo a ser aquecido. Sendo assim é necessário conhecer as características dos meios dos quais será transmitido calor. Para isso, é necessário fazer uma análise de calorimetria em cada uma das fontes de calor.

3.6.1 Equações da Calorimetria

Em um processo onde ocorre a variação de temperatura de um material há a mudança da energia térmica do sistema, por meio da troca de energia entre o material e o meio no qual se encontra. Essa energia transferida é chamada de **calor** e normalmente representada pela letra Q (HALLYDAY RESNICK, 1991).

A **capacidade térmica** de um objeto é a constante de proporcionalidade entre o calor Q recebido ou cedido por um objeto e a variação de temperatura ΔT do objeto, é calculada pela Equação (3),

$$Q = C \Delta T = C(T_f - T_i), \quad (3)$$

Sendo:

T_i = temperatura inicial do objeto

T_f = temperatura final do objeto

C = capacidade térmica medida em unidades de energia por grau Celsius ou energia por kelvin

O **calor específico** representa a capacidade térmica por unidade de massa. Ele se refere não a um objeto, mas a uma massa unitária do material que é feito o objeto. Sendo assim, desenvolvendo a Equação (3), tem-se a Equação (4):

$$Q = m c \Delta T = m c (T_f - T_i), \quad (4)$$

Sendo:

m = massa, normalmente em gramas;

c = calor específico.

As unidades mais usadas de calor específico são demonstradas pela Equação (5):

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\text{cal}}{g^{\circ}C} = \frac{J}{g^{\circ}C} \quad (5)$$

Analisando as equações podemos concluir que quanto menor o calor específico de uma substância, mais facilmente ela perderá ou receberá calor. Para determinar as quantidades de calor cedidas ou recebidas, existem duas formas de fazer o cálculo: uma para quando há mudança de estado físico e outra quando apenas há variação da temperatura. Para o estudo da bomba de calor utilizamos a segunda maneira, pois o objetivo é variar a temperatura, e não o estado físico.

3.7 CASOS DE SUCESSO

Apesar de a bomba de calor ainda não ser amplamente utilizada, é possível encontrar alguns casos de sucesso na cidade de Curitiba. A seguir, estão listados os principais deles:

- **UTFPR** – para aquecer a piscina da universidade, são utilizados dois sistemas, sendo eles:

- sistema principal –constituído por uma bomba de calor do tipo Terra-Água, que tem por finalidade utilizar o calor geotérmico para fazer o aquecimento da piscina;
- sistema auxiliar – sistema de aquecimento a gás ainda existente pelo fato da bomba de calor não suprir plenamente o aquecimento da piscina.

Visando a sustentabilidade e a economia, a UTFPR possui um novo sistema proposto para o aquecimento da piscina, que tem como objetivo eliminar o sistema de aquecimento a gás e adicionar um sistema de aquecimento solar para trabalhar em conjunto com a bomba de calor. O custo mensal para manter o aquecimento a gás é de R\$ 6.396,00, sendo quatro vezes maior que o custo do aquecimento da bomba de calor e solar juntos, custando estes mensalmente R\$ 1217,23 e R\$ 182,70, respectivamente (ENEGEP, 2014);

- **Volvo do Brasil** – foi instalada uma bomba de calor para recuperar o calor do processo de usinagem que possuía uma temperatura acima das especificações. A empresa ainda utilizava aquecimento a gás para aquecer água para os chuveiros dos vestiários dos colaboradores, que foi substituído pelo aquecimento da bomba de calor. Este projeto obteve uma redução de custos de R\$ 24.000,00 por ano, dando um retorno do capital investido de 35 meses (THERMACQUA, 2013);

- **UnicenP** – a bomba de calor instalada nas dependências da faculdade tem a finalidade de retirar calor do lago e aquecer a piscina olímpica, ambos situados dentro do campus. Essa aplicação possibilitou uma redução dos custos de aproximadamente 80% e um retorno de investimento menor que dois anos (THERMACQUA, 2013);

- **Círculo Militar** – a bomba de calor instalada para aquecer a piscina do clube substituiu um aquecedor a óleo diesel que tinha um gasto mensal de aproximadamente R\$ 26.000,00. O consumo de energia elétrica da bomba de calor é de R\$ 4.000,00, tendo uma economia de R\$ 22.000,00 (CMC, 2013).

4. NORMATIZAÇÃO

Normas são documentos estabelecidos por consenso e aprovados por um organismo reconhecido, que fornecem, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto. NBR é a sigla de Norma Brasileira aprovada pela ABNT, de caráter voluntário, e fundamentada no consenso da sociedade. Torna-se obrigatória quando essa condição é estabelecida pelo poder público. NR é a sigla de Norma Regulamentadora estabelecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego, com caráter obrigatório (ABNT, 2013).

O transporte de fluidos refrigerantes, sua segurança, as condições da água a ser utilizada na troca de calor e a ergonomia para climatização em ambientes de trabalho devem respeitar as normas técnicas brasileiras e, quando necessário, as normas internacionais. As normas contempladas no estudo são as seguintes:

- NBR 16401-1
- NR 12
- NR 15

4.1 ABNT NBR 16401-1:2008 INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO – SISTEMAS CENTRAIS E UNITÁRIOS. PARTE 1: PROJETOS DAS INSTALAÇÕES

A Norma Brasileira nº 16401-1 estabelece os parâmetros básicos e os requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar-condicionado centrais e unitários (NBR 16401-1:2008). A partir desta norma, pode-se especificar o grupo de resfriador de água a ser utilizado, bem como as propriedades dos condutores do líquido e seus fatores para segurança. Seguem os elementos prescritos na norma.

4.1.1 Critérios de seleção dos equipamentos principais.

Grupos resfriadores de água:

- o projeto deve estipular a eficiência exigida dos grupos resfriadores de água, em plena carga e em carga parcial, aferida de acordo com a ARI 550/590;
- a temperatura da água gelada suprida pelos grupos deve ser selecionada de forma a otimizar o desempenho e o custo do sistema.

Bombas Hidráulicas:

- as bombas devem ser selecionadas para operarem em plena carga no ponto de eficiência máxima de sua curva característica, ou pouco à direita deste;
- deve-se manter, em qualquer condição operacional, uma pressão estática líquida positiva na conexão de aspiração da bomba 20% superior à mínima requerida pela bomba para evitar a cavitação.

4.1.2 Instalações de água gelada, água quente e água de condensação.

Critérios de projeto:

- as tubulações em circuitos abertos contendo água devem ser projetadas de modo a garantir que não ficarão com água parada em seu interior por um período superior a 7 dias consecutivos, para reduzir o risco de proliferação de microrganismos;
- a vazão de água do sistema depende do diferencial de temperatura requerido nos trocadores de calor: um diferencial maior reduz a vazão de água, o custo da tubulação e a potência de bombeamento, porém pode aumentar o custo do trocador. Recomenda-se adotar o maior diferencial de temperatura condizente com uma seleção econômica de cada trocador e não um diferencial arbitrário uniforme para toda a rede;

- recomenda-se projetar o sistema para operar em vazão variável, adotando válvulas de controle de duas vias. Válvulas de controle de três vias podem ser usadas em sistemas de pequeno porte, com trocadores de calor situados à proximidade da central e potência de bombeamento até 3,75 kW;
- os limites de velocidade da água são determinados na Tabela 1 por considerações de custo das tubulações, ruído e erosão.

Tabela 1 - Velocidades econômicas recomendadas.

Aplicação	Velocidade m/s
Recalque de bombas	2,4 a 3,6
Sucção de bombas	1,2 a 2,1
Geral	1,5 a 3,5

Fonte: NBR 16401-1 (2008).

Dimensionamento:

- os parâmetros desejados devem ser escolhidos pelo projetista visando um equilíbrio aceitável entre o custo da rede e o consumo de energia. Uma relação de energia elétrica consumida no bombeamento para a energia térmica transportada de 0,04 kW/kW é desejável, porém nem sempre viável por resultar em custo excessivo da rede. Um critério frequentemente adotado, que resulta em rede com perda de carga e custo moderados, consiste em limitar a velocidade em 1,2 m/s para tubos com diâmetro de até 50 mm e a perda por fricção em 400 Pa/m para tubos maiores que 50 mm.

Materiais:

- o material das tubulações é geralmente aço-carbono, preto ou galvanizado;
- outros materiais podem ser estipulados a critério do projetista, tais como cobre, policloreto de vinila (PVC) e outros, desde que satisfaçam as condições de pressão e temperatura estipuladas no projeto.

4.1.3 Cálculo de Carga Térmica

As cargas térmicas devem ser expressas em watts e as vazões de ar em litros por segundo de ar padrão e corrigidas para a massa específica efetiva do ar em cada fase do processo.

Abrangência do cálculo e metodologia.

- Zoneamento

Para efeito de cálculo devem ser identificadas as zonas térmicas.

- Metodologia

Para sistemas com zona única ou pequeno número de zonas, é admissível adotar o método da ASHRAE CLTD/CLF – Cooling Load Temperature Difference / Cooling Load Factor.

O livro de fundamentos da ASHRAE, publicado em 2009, aborda os princípios básicos e os dados utilizados pela indústria de climatização. Trata-se de um livro que explica passo a passo como utilizar os cálculos para transferência de calor (ASHRAE, 2009). Os cálculos adotados serão apresentados no estudo do caso Electrolux.

4.2 NR 12 – MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

A Norma Regulamentadora nº 12 estabelece as medidas de prevenção de segurança e higiene do trabalho a serem adotadas pelas empresas em relação à construção, transporte, instalação, manutenção e operação de máquinas e equipamentos. É fundamentada nos artigos 184 e 186 da Consolidação das Leis de Trabalho (Normas Regulamentadoras, 2013). Nas subseções seguintes, serão apontados os elementos contidos na norma.

4.2.1 Quanto ao arranjo físico e instalações de máquinas

- Nos locais de instalação de máquinas e equipamentos, as áreas de circulação devem ser devidamente demarcadas e em conformidade com as normas técnicas oficiais;
- os materiais em utilização no processo produtivo devem ser alocados em áreas específicas de armazenamento, devidamente demarcadas com faixas de cor indicadas pelas normas técnicas oficiais ou sinalizadas quando se tratar de áreas externas;
- os espaços ao redor das máquinas e equipamentos devem ser adequados ao seu tipo de operação, de forma a prevenir a ocorrência de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho;
- as áreas de circulação e armazenamento de materiais e os espaços em torno de máquinas devem ser projetados, dimensionados e mantidos de forma que os trabalhadores e os transportadores de materiais, mecanizados e manuais, movimentem-se com segurança;
- as máquinas estacionárias devem possuir medidas preventivas quanto à sua estabilidade, de modo que não basculem e não se desbloqueiem intempestivamente por vibrações, choques, forças externas previsíveis, forças dinâmicas internas ou qualquer outro motivo acidental.

4.2.2 Quanto à instalação elétrica de máquinas e equipamentos

- As instalações elétricas das máquinas e equipamentos devem ser projetadas e mantidas de modo a prevenir, por meios seguros, os perigos de choque elétrico, incêndio, explosão e outros tipos de acidentes, conforme previsto na NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- devem ser aterrados, conforme as normas técnicas oficiais vigentes, as instalações, carcaças, invólucros, blindagens ou partes condutoras

das máquinas e equipamentos que não façam parte dos circuitos elétricos, mas que possam ficar sob tensão;

- as instalações elétricas das máquinas e equipamentos que estejam ou possam estar em contato direto ou indireto com água ou agentes corrosivos devem ser projetadas com meios e dispositivos que garantam sua blindagem, estanqueidade, isolamento e aterramento, de modo a prevenir a ocorrência de acidentes.

4.2.3 Quanto aos dispositivos de partida, acionamento e parada

- Os dispositivos de partida, acionamento e parada das máquinas devem ser projetados, selecionados e instalados de modo que:
 - a) Não se localizem em zonas perigosas;
 - b) possam ser acionados ou desligados em caso de emergência por outra pessoa que não seja o operador;
 - c) impeçam acionamento ou desligamento involuntário pelo operador ou por qualquer outra forma acidental;
 - d) não acarretem riscos adicionais;
 - e) não possam ser burlados.
- os comandos de partida ou acionamento das máquinas devem possuir dispositivos que impeçam seu funcionamento automático ao serem energizadas;
- as máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência, por meio dos quais possam ser evitadas situações de perigo latentes e existentes;
- o acionamento do dispositivo de parada de emergência deve também resultar na retenção do acionador, de tal forma que quando a ação no acionador for descontinuada, este se mantenha retido até que seja desacionado.

4.2.4 Quanto aos componentes pressurizados

- Devem ser adotadas medidas adicionais de proteção das mangueiras, tubulações e demais componentes pressurizados sujeitos a eventuais impactos mecânicos e outros agentes agressivos, quando houver risco;
- as mangueiras, tubulações e demais componentes pressurizados devem ser localizados ou protegidos de tal forma que uma situação de ruptura destes componentes e vazamento de fluidos, não possa ocasionar acidentes de trabalho;
- as mangueiras utilizadas nos sistemas pressurizados devem possuir indicação da pressão máxima de trabalho admissível especificada pelo fabricante;
- os sistemas pressurizados das máquinas devem possuir meios ou dispositivos destinados a garantir que:
 - a) a pressão máxima de trabalho admissível nos circuitos não possa ser excedida;
 - b) quedas de pressão progressivas ou bruscas e perdas de vácuo não possam gerar perigo.
- quando as fontes de energia da máquina forem isoladas, a pressão residual dos reservatórios e de depósitos similares, como acumuladores hidropneumáticos, não pode gerar risco de acidentes.

4.3 NR 15 – ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES

A Norma Regulamentadora número 15 apresenta os limites de tolerância e os requisitos técnicos que caracterizam a atividade insalubre, ou seja, aquelas prestadas em condições que expõem o trabalhador aos agentes nocivos à saúde, acima dos limites de tolerância fixados em razão da natureza e da intensidade do agente e do tempo de exposição aos seus efeitos (SESI-BA, 2008).

Para a exposição do trabalhador ao calor, a NR 15 em seu anexo nº 3 cita:

1. a exposição ao calor deve ser avaliada através do “Índice de Bulbo Úmido – Termômetro de Globo” (IBUTG), definido pela equação que segue.
Ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$IBUTG = 0,7t_{bn} + 0,3t_g \quad (6)$$

onde:

t_{bn} = temperatura de bulbo úmido natural

t_g = temperatura de globo

2. os aparelhos que devem ser usados nesta avaliação são: termômetro de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum.
3. as medições devem ser efetuadas no local onde permanece o trabalhador, à altura da região do corpo mais atingida.

Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso em outro local (local de descanso).

1. Para os fins deste item, considera-se como local de descanso, ambiente termicamente mais ameno, com o trabalhador em repouso ou exercendo atividade leve.
2. os limites de tolerância são dados segundo a Tabela 2:

Tabela 2 - Máximo IBUTG para trabalho intermitente.

M (kcal/h)	MÁXIMO IBUTG
175	30,5
200	30
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26
450	25,5
500	25

Fonte: NR 15 (2011).

sendo M é a taxa de metabolismo média ponderada para uma hora, determinada pela Equação (7):

$$M = \frac{M_t \times T_t + M_d \times T_d}{60} \quad (7)$$

Sendo:

M_t – taxa de metabolismo no local de trabalho.

T_t – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de trabalho.

M_d – taxa de metabolismo no local de descanso.

T_d – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de descanso.

$\overline{\text{IBTUG}}$ é o valor IBUTG médio ponderado para uma hora determinado pela Equação (8):

$$\overline{\text{IBTUG}} = \frac{\text{IBUTG}_t \times T_t + \text{IBUTG}_d \times T_d}{60} \quad (8)$$

Sendo:

IBUTG_t – valor do IBUTG no local de trabalho.

IBUTG_d– valor do IBUTG no local de descanso.

3. as taxas de metabolismo M_t e M_d serão obtidas a partir da Tabela 3.
4. os períodos de descanso serão considerados tempo de serviço para todos os efeitos legais.

Tabela 3 - Taxa de metabolismo por tipo de atividade.

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
SENTADO EM REPOUSO	100
TRABALHO LEVE	
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco.	125
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas.	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	150
TRABALHO MODERADO	
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	180
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	175
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	220
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	300
TRABALHO PESADO	
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos.	440
Trabalho fatigante	550

Fonte: NR 15 (2011).

5. ESTUDO DO CASO ELECTROLUX

5.1 A ELECTROLUX DO BRASIL

A empresa Electrolux S.A. é líder global em aparelhos domésticos e de uso profissional, vendendo todo ano mais de 40 milhões de produtos para consumidores em mais de 150 mercados. A empresa foca em produtos inovadores que têm o seu *design* baseado numa ampla visão focada no cliente, buscando satisfazer às necessidades dos consumidores tanto domésticos como profissionais.

A Electrolux do Brasil atende ao mercado latino-americano e possui um Escritório Administrativo em São Paulo, uma fábrica de Lavadoras de Roupas, Freezers e Fogões em São Carlos, uma fábrica de Condicionadores de Ar e Microondas em Manaus e duas fábricas em Curitiba, uma de Refrigeradores e Freezers e outra de Aspiradores e Lavadoras de Alta Pressão.

A unidade do Guabirota, situada em Curitiba, foi fundada em 1929 sob o nome de Refrigeração Paraná S/A. Em 1961, a Refripar, como era chamada, lança o primeiro freezer horizontal no Brasil e em 1977 começou a produzir freezers verticais. Cinco anos depois, em 1982, a Refripar adquire o controle acionário das Indústrias Pereira Lopes, fabricante da marca Climax.

Em 1996, o grupo Electrolux adquire o controle acionário da Refripar, Refrigeração Paraná S/A, segunda maior indústria de produtos da linha branca no Brasil, medida que permitiu a consolidação de planos e posicionamento da Electrolux na América Latina.

Em 2000, foi lançado o primeiro refrigerador *frost-free* nacional. No ano de 2001, a unidade Guabirota – Curitiba, representada na Figura 10, certificou-se com a ISO 14001 e foi lançada a primeira lavadora eletrônica (ELECTROLUX, 2012).

Em 2008, a Electrolux lançou um programa chamado “Green Spirit” que tem suas atividades voltadas ao gerenciamento dos recursos naturais utilizados pela empresa de forma a evitar o desperdício e contribuir para o meio ambiente. Anualmente, todas as plantas da Electrolux no mundo são auditadas para a certificação Green Spirit, que pode ser Bronze, Prata, Ouro ou Platina.

Arauterm modelo CAD-HP-1250, uma bomba de água 25 m³/h e dois trocadores de calor do tipo colmeia, conforme ilustrado nas Figuras 11, 12 e 13.



Figura 11 - Boiler da fábrica 1 da Electrolux do Guabirota.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 12 - Trocador de calor do tipo colmeia.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 13 - Tanque 1 do banho de desengraxante da Fábrica 1.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 14 mostra o boiler que aquece a água a uma temperatura de aproximadamente 55°C que é bombeada para os trocadores de calor que, por sua vez, aquecem os tanques com a solução desengraxante. Essa água retorna ao boiler a uma temperatura de 50°C, reiniciando o processo.

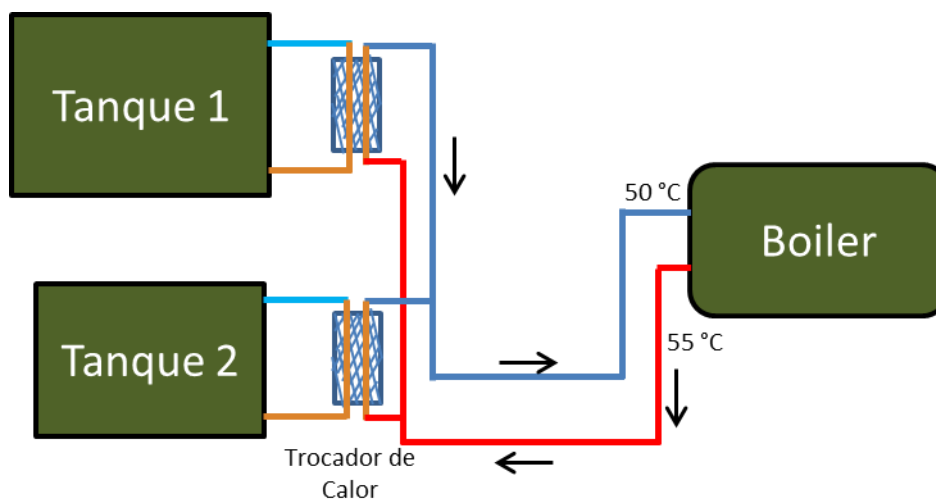


Figura 14 - Esquema simplificado do sistema de aquecimento do banho de desengraxante.

Fonte: Autoria Própria.

5.3 CLIMATIZAÇÃO DA CABINE DE PINTURA

A cabine de pintura da fábrica 1 da Electrolux Guabirota possui um sistema de climatização composto por um chiller de compressão da Trane modelo RTWA de capacidade nominal de 70 TRs, 64 kW, torre de resfriamento e serpentina, demonstrados nas Figuras 15, 16 e 17, respectivamente. Esse sistema foi projetado para que a circulação de ar dentro da cabine tenha um fluxo determinado e controlado para que não interfira na pintura das peças, como mostra a Figura 18.



Figura 15 – Chiller de compressão da cabine de pintura da fábrica 1.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 16 - Torre de resfriamento do chiller.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 17 - Serpentina do sistema de climatização da cabine de pintura.

Fonte: Autoria Própria.



Figura 18 - Saídas de ar dimensionadas para o correto fluxo de ar na cabine de pintura.

Fonte: Autoria Própria.

O setor de Segurança do Trabalho da Electrolux classificou o trabalho dos colaboradores da cabine de pintura como moderado, com uma taxa de metabolismo de 220 kcal/h - de pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação (NR15, 2011). Os operadores trabalham em média, 55 minutos dentro da cabine e 5 minutos em uma sala ao lado verificando o sistema supervisorio da pintura em um computador.

Os valores que foram fornecidos pela Electrolux são:

$$M_t = 220 \text{ kcal/h}$$

$$T_t = 55 \text{ min}$$

$$M_d = 125 \text{ kcal/h}$$

$$T_d = 5 \text{ min}$$

$$IBUTG_t = 25,7$$

$$IBUTG_d = 23,6$$

Por meio da Equação (7), obtem-se a taxa de metabolismo médio ponderado para uma hora (M) como:

$$M = \frac{M_t \times T_t + M_d \times T_d}{60} \quad (7)$$

$$M = \frac{220 \times 55 + 125 \times 5}{60}$$

$$M = 212,08 \text{ kcal/h}$$

Sendo:

M_t – taxa de metabolismo no local de trabalho.

T_t – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de trabalho.

M_d – taxa de metabolismo no local de descanso.

T_d – soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de descanso.

E utilizando a Equação (8) que calcula o IBUTG médio ponderado para uma hora, tem:

$$\overline{\text{IBUTG}} = \frac{\text{IBUTG}_t \times T_t + \text{IBUTG}_d \times T_d}{60} \quad (8)$$

$$\overline{\text{IBUTG}} = \frac{25,7 \times 55 + 23,6 \times 5}{60}$$

$$\overline{\text{IBUTG}} = 25,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sendo:

IBUTG_t – valor do IBUTG no local de trabalho.

IBUTG_d – valor do IBUTG no local de descanso.

Comparando os valores obtidos com a Tabela 2, pode-se afirmar que a situação atual dos colaboradores na cabine de pintura da fábrica 1 está de acordo com a NR15, pois $25,53^\circ\text{C}$ não atinge o valor máximo IBUTG para a operação, $28,5^\circ\text{C}$.

O funcionamento simplificado da climatização da cabine de pintura é mostrado na Figura 19. O sistema de climatização da cabine de pintura possui um circuito de resfriamento da cabine, com o sistema de água gelada do chiller de compressão que começa com uma temperatura de 7°C , troca calor com o meio através da serpentina, e retorna a uma temperatura de 10°C . Também possui um circuito de resfriamento do chiller, com uma torre de resfriamento.

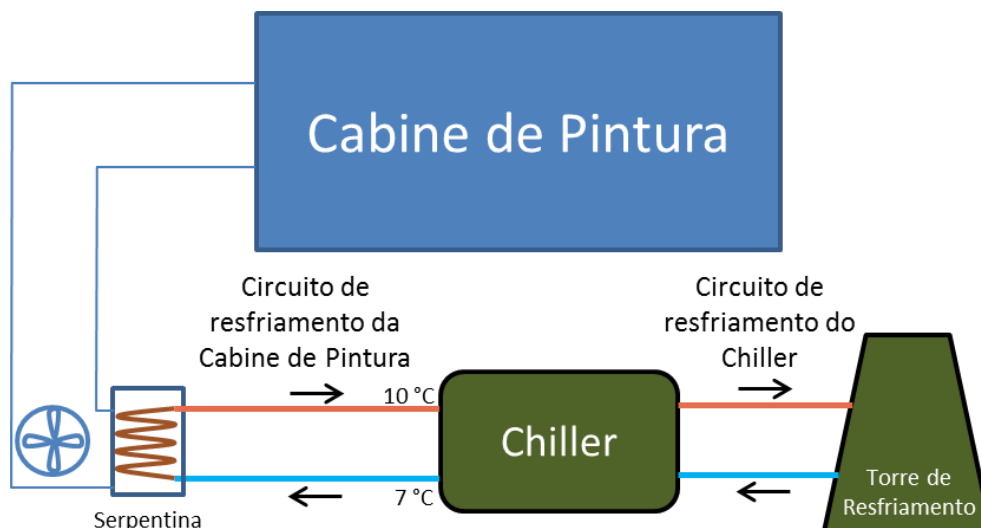


Figura 19 - Esquema simplificado do sistema de climatização da cabine de pintura.

Fonte: Autoria Própria.

5.4 O MODELO PROPOSTO

Em reunião com a Electrolux, foi determinado que não se utilizasse o boiler, e portanto deveria ser dimensionado uma bomba de calor split água/água a compressão que substituirá a função que hoje é feita pelo boiler. Outra necessidade levantada foi a utilização do evaporador da bomba de calor (parte fria) para ajudar na climatização da pintura, auxiliando o sistema do chiller. Essa definição foi tomada para que ambos os processos não tenham que ser modificados com a instalação da bomba de calor.

Com a finalidade de manter a confiabilidade do aquecimento, é interessante que o boiler seja mantido como *backup* para o sistema da bomba de calor. Para isso, o condensador (parte quente) deve ser instalado na tubulação de retorno, antes do boiler. Como a bomba de calor será dimensionada para entregar a mesma energia térmica que hoje é fornecida pelo boiler, este ficará desligado. Caso ocorra falha na bomba de calor, o boiler assume a função de aquecimento.

Seguindo os mesmos princípios, a proposta é que o evaporador da bomba de calor seja instalado na tubulação de retorno, antes do chiller. Sendo assim, a energia que será gasta no sistema de climatização poderá ser menor, pois a energia térmica demandada para o resfriamento dessa água pelo chiller será menor.

A Figura 20 mostra o sistema proposto. Com ele, será alcançada a maior eficiência que a bomba de calor pode entregar, pois será utilizado para o processo ambas as funções de aquecimento e resfriamento. Ainda assim, será possível seguir os termos determinados pela Electrolux em não modificar o processo que hoje é utilizado.

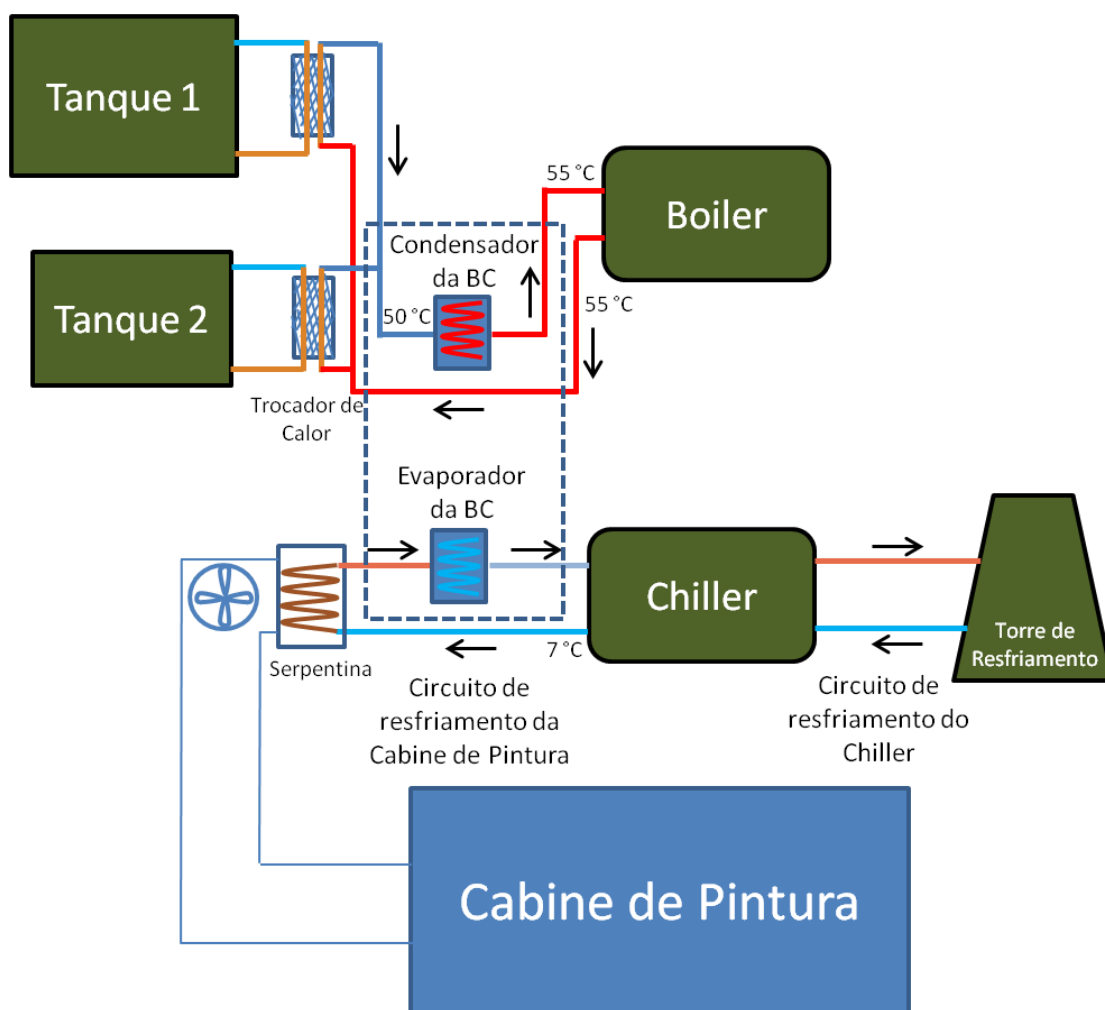


Figura 20 - Esquema simplificado do sistema proposto.

Fonte: Autoria Própria.

5.5 O CONSUMO DE GÁS NATURAL

O sistema de aquecimento de água do boiler na fábrica 1 da Electrolux do Brasil é mantido aquecido ininterruptamente durante 20 horas por dia, em uma

semana de 6 dias de trabalho. De acordo com o histórico da Electrolux, o consumo médio mensal de gás natural para o aquecimento da água do boiler é equivalente a 11.100 m³. Considerando o valor pago em outubro pela Electrolux de R\$ 1,41 por m³, tem-se o gasto mensal de R\$ 15.651,00.

5.6 O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A cabine de pintura da fábrica 1 da Electrolux do Brasil é climatizada por um chiller de compressão, que possui uma potência elétrica de 64 kW e capacidade de resfriamento de 70 TRs.

O histórico de consumo de energia elétrica mensal por parte do chiller informado pela Electrolux apresenta uma média de 18.990 kWh. Considerando o valor pago em outubro de 2013 pela empresa de R\$ 0,20 por kWh de energia elétrica, por participar do mercado livre de energia, o gasto mensal com a utilização do chiller é de R\$ 3.798,00. Com 26 dias de funcionamento em um mês, e 22 horas de trabalho por dia, tem-se a real potência utilizada pelo chiller:

$$P_{REAL} = \frac{\frac{18.990}{26}}{22} = 33,2 \text{ kW} \quad (9)$$

Ou seja, o chiller utiliza cerca de 52% de sua capacidade nominal, de 64 kW, para a refrigeração do setor de pintura.

5.7 DIMENSIONAMENTO DA BOMBA DE CALOR

O sistema proposto sugere utilizar a energia desperdiçada no resfriamento da sala do setor de pintura e transferi-la para o sistema de aquecimento de água do Boiler com o auxílio da bomba de calor. A bomba deve garantir que a água no interior do Boiler se mantenha a 55°C, utilizando o menor trabalho possível.

5.7.1 Cálculo da quantidade de energia para o aquecimento da água

Inicialmente é preciso calcular a quantidade de energia térmica necessária para o aquecimento. Esse cálculo é feito através da Equação (4).

$$Q = m c \Delta T = m c (T_f - T_i) \quad (4)$$

Sendo:

Q = quantidade de calor recebido pelo corpo, em calorias;

m = massa do corpo, em gramas;

c = calor específico, em $\frac{cal}{g^{\circ}C}$;

ΔT = variação de temperatura no corpo, em $^{\circ}C$.

Como o boiler trabalha 22 horas por dia a uma vazão de 25 m³/h e o aquecimento da água ocorre entre 50^oC e 55^oC, no sistema de água do boiler tem-se diariamente:

$$\text{Massa da água} = 25 * 1000 * 22 = 550.000.000 \text{ g}$$

$$\text{Calor específico da água} = 1 \frac{cal}{g^{\circ}C}$$

$$\text{Variação de temperatura} = 5 \text{ }^{\circ}C$$

$$Q_{\text{Água}} = 550.000.000 \times 1 \times 5 = 2.750.000 \text{ kcal}$$

Considerando que 1cal equivale a 4,187J e 3,6x10⁶J é igual a 1 kWh (RAPIDTABLES, 2014):

$$Q_{\text{Água}} = 2.750.000.000 \times 4,187 = 11.514.250.000 \text{ J}$$

$$Q_{\text{Água}} = \frac{11.514.250.000}{3,6 \times 10^6} = 3.198,403 \text{ kWh}$$

5.7.2 Cálculo do rendimento da queima de gás natural

Para obter o rendimento do atual sistema de aquecimento de água, é necessário o cálculo de quantidade de energia térmica gerada diariamente pela queima do gás natural. Isso é feito multiplicando o gasto diário do gás por seu poder calorífico. Para isso, serão considerados 26 dias de utilização do aquecimento do boiler em um mês.

$$\text{Quantidade de gás natural utilizado diariamente} = \frac{11.100}{26} = 426,923 \text{ m}^3$$

$$\text{Poder calorífico do gás natural} = 9400 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \text{ (PETROBRÁS, 2014)}$$

$$Q_{\text{Gás Natural}} = 426,923 \times 9400 = 4.013.077 \text{ kcal}$$

Considerando que 1 cal equivale a 4,187 J e $3,6 \times 10^6$ J é igual a 1 kWh (RAPIDTABLES, 2014):

$$Q_{\text{Gás Natural}} = 4.013.076.000 \times 4,187 = 16.802.753.399 \text{ J}$$

$$Q_{\text{Gás Natural}} = \frac{16.802.753.399}{3,6 \times 10^6} = 4.667,431 \text{ kWh}$$

O rendimento do sistema é calculado através da Equação (11):

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_{\text{Água}}}{Q_{\text{Gás Natural}}} & (11) \\ \eta &= \frac{3.198,403}{4.667,431} = 0,685 \\ \eta &= 68,5\% \end{aligned}$$

Sendo:

η – rendimento do sistema;

$Q_{\text{Água}}$ – energia térmica necessária para o aquecimento da água;

$Q_{\text{Gás Natural}}$ – energia térmica total com a queima do gás natural.

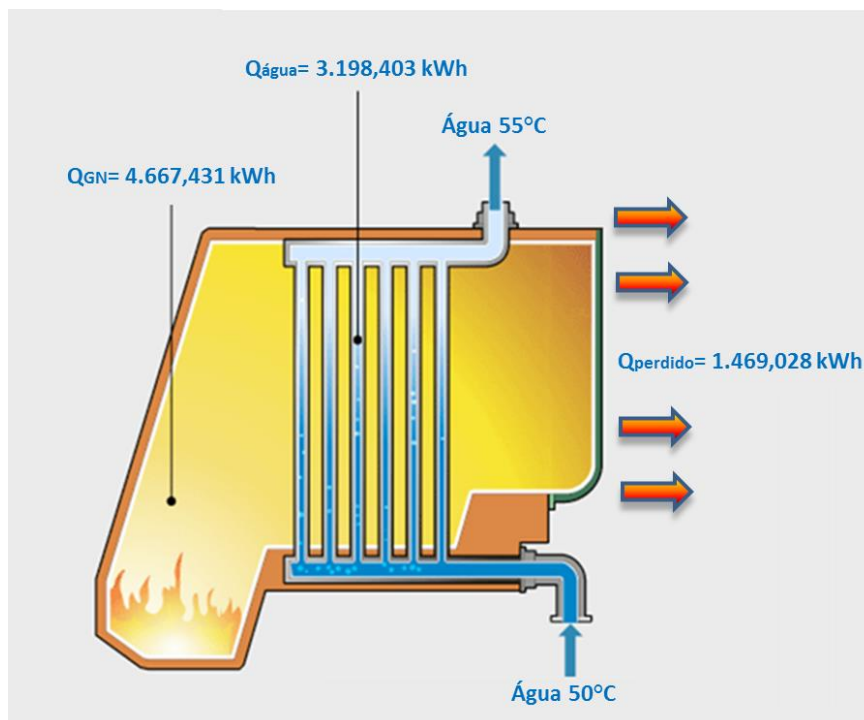


Figura 21 - Balanço de energia do boiler no sistema atual.

Fonte: Adaptado de HSW (2014).

5.7.3 Cálculo da quantidade de energia disponível no sistema do chiller

Diariamente, a bomba de água do chiller de compressão trabalha a 40 m³/h durante 22 horas, utilizando 730,38 kWh/dia de energia elétrica. A água, líquido utilizado como refrigerante a 7°C, troca calor com o ambiente da sala de pintura, e aumenta sua temperatura para 10°C. Durante sua passagem pelo condensador, ocorre uma nova troca de calor com o ambiente, e o refrigerante retorna aos 7°C. Portanto, é necessário calcular a quantidade de energia térmica que se torna disponível quando este resfriamento é feito pela bomba de calor, utilizando a Equação (4).

$$\text{Massa do refrigerante} = 40 * 1000 * 22 = 880.000.000 \text{ g}$$

$$\text{Calor específico do refrigerante} = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Variação de temperatura} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{Refrigerante} = 880.000.000 \times 1 \times 3 = 2.640.000 \text{ kcal}$$

Considerando que 1cal equivale a 4,187J e $3,6 \times 10^6 \text{J}$ é igual a 1 kWh (RAPIDTABLES, 2014):

$$Q_{Refrigerante} = 2.640.000.000 \times 4,187 = 11.053.680.000 \text{ J}$$

$$Q_{Refrigerante} = \frac{11.053.680.000}{3,6 \times 10^6} = 3.070,467 \text{ kWh}$$

A energia disponível para reaproveitamento é de 3.070,467 kWh. Como o sistema do boiler necessita de 3.198,403 kWh para que a temperatura da água do banho desengraxante seja mantida a 55°C, é necessário que a bomba de calor ofereça a energia restante.

5.8 EMISSÃO DE GASES POLUENTES

O gás natural é uma mistura variada de hidrocarbonetos gasosos, cujo principal componente é o metano – CH₄. O restante de sua composição é formado por pequenas parcelas de etano, propano e outros componentes de maior peso molecular, como o Dióxido de Carbono – CO₂ - e o Nitrogênio – N₂ (GASNET, 2014). A Tabela 4 indica a porcentagem de componentes encontrados no gás natural.

Tabela 4 - Composição do gás natural

ELEMENTO	%
Metano	89
Etano	6
Propano	1,8
C ₄	1,0
CO ₂	1,5
N ₂	0,7

Fonte: GASMIG (2014).

Como a queima do gás natural emite 400g de dióxido de carbono a cada kWh gerado (IEA, 2014), será calculada a emissão deste gás na atmosfera, através da Equação (10):

$$\text{Quantidade de } CO_2 = GN(kWh) \times \text{teor } CO_2 \quad (10)$$

Sendo:

$GN(kWh)$ = energia com o gás natural em kWh;

$\text{teor } CO_2$ = teor de dióxido de carbono presente na queima do gás natural.

Assim, a emissão mensal e anual de metano será:

$$\text{Quantidade mensal de } CO_2 = 4.667,431 \frac{kWh}{dia} \times 0,0004 \frac{ton}{kWh} \times 26 \frac{dia}{mês}$$

$$\text{Quantidade mensal de } CO_2 = 48,541 \frac{ton}{mês}$$

$$\text{Quantidade anual de } CO_2 = 48,541 \frac{ton}{mês} \times 12$$

$$\text{Quantidade anual de } CO_2 = 582,495 \frac{ton}{ano}$$

5.9 RESUMO DO SISTEMA ATUAL

Antes da implementação da bomba de calor, a situação da fábrica 1 da Electrolux do Brasil pode ser resumida conforme as Tabelas 5 e 6.

A Tabela 5 apresenta os gastos da Electrolux do Brasil com a queima de gás natural para o aquecimento da água do boiler, a quantidade de metano gerada por esta queima e o fluxo de energia térmica neste sistema.

Tabela 5 - Resumo do sistema de aquecimento de água

PERÍODO	CONSUMO DE GÁS NATURAL (m ³)	CUSTO (R\$)	EMIÇÃO DE CO ₂ (ton)	ENERGIA PRODUZIDA (kWh)	ENERGIA UTILIZADA (kWh)	ENERGIA DESPERDIÇADA (kWh)
Diário	426,923	601	1,867	4.667	3.198	1.469
Mensal	11.100	15.651	48,541	121.353	83.158	38.195
Anual	133.200	187.812	582,495	1.456.238	997.901	458.337

Fonte: Autoria própria

A Tabela 6 apresenta os gastos da Electrolux do Brasil com a utilização do chiller de compressão para resfriamento do setor de pintura e a energia térmica que é retirada do sistema.

Tabela 6 - Resumo do sistema de climatização do setor de pintura

PERÍODO	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	CUSTO (R\$)	ENERGIA RETIRADA(kWh)
Diário	730,385	146,08	3.070,467
Mensal	18.990	3.798	79.832,142
Anual	227.880	45.576	957.985,704

Fonte: Autoria própria

5.10 DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE PERFORMANCE E POTÊNCIA ELÉTRICA DA BOMBA DE CALOR

Com base nessas informações, o representante da Thermacqua Curitiba/PR, empresa de implementação de sistemas de aquecimento e resfriamento, apresentou a bomba de calor KWC-S126, da empresa KKT, cujo coeficiente de performance é 2,7 e demanda elétrica de 55 kW por parte do compressor.

O coeficiente de performance indica a relação entre a quantidade de energia entregue ao sistema de aquecimento do boiler e a consumida pela bomba (ESPAÇO ENERGIA, 2014). Um COP de 2,7, indica que a cada 1 kWh de energia elétrica entregue à bomba, ela fornece 2,7 kWh de energia térmica ao boiler, dos quais 1,7 kWh de energia térmica provém do sistema de climatização da pintura.

Assim, com um COP de 2,7 pode-se calcular a energia necessária para a bomba de calor oferecer ao boiler 3.198,403 kWh de energia térmica diariamente:

$$E_{bomba} = \frac{3.198,403}{2,7} = 1.184,594 \text{ kWh}$$

Para um período diário de 22 horas, a potência elétrica da bomba de calor necessária será:

$$P_{bomba} = \frac{1.184,594}{22} = 53,845 \text{ kW}$$

O que demonstra que a bomba está corretamente dimensionada com uma demanda de 55 kW.

5.11 CÁLCULO DA ENERGIA REAPROVEITADA DO SISTEMA

O sistema de aquecimento de água do boiler necessita de 3.198,403 kWh de energia térmica para elevar a temperatura de 50°C para 55°C. Destes, 1.184,594 kWh são fornecidos pela bomba de calor através de conversão de energia elétrica.

Portanto, a energia que será reaproveitada do sistema de climatização do setor de pintura será:

$$E_{Reap.} = 3.198,403 - 1.184,594 = 2.013,809 \text{ kWh}$$

5.12 CÁLCULO DO GASTO DO CHILLER DE COMPRESSÃO

O processo de redução de temperatura da água do sistema do chiller de 10°C para 7°C necessita de 3.070,467 kWh de dispersão de calor. Como a energia a ser utilizada pela bomba é de 2.013,809 kWh, a energia que necessitará ser retirada pelo chiller será:

$$E_{ref.} = 3.070,467 - 2.013,809 = 1.056,658 \text{ kWh}$$

Como 1 kW equivale a 0,28434517 TR (tonelada de refrigeração) (CONVERTWORLD, 2014), tem-se:

$$E_{ref.} = 1.056,658 \times 0,28434517 = 300,456 \text{ TR}$$

Em um período diário de 22 horas, a potência de refrigeração será:

$$P_{ref.} = \frac{300,456}{22} = 13,657 \text{ TR}$$

O manual do chiller RTWA070DYA1C0036 informa a relação entre a potência utilizada pelo equipamento e seu fornecimento de energia térmica em TR, como demonstra a Tabela 7.

Tabela 7 - Performance do chiller

Tamanho da Unidade	% CARGA	TONS
RTWA 70	100	73,5
Condensador	75	55,1
Padrão	50	36,8
	25	18,4

Fonte: Adaptado de TRANE (2014).

Assim, seguindo a razão oferecida pela Tabela 7, o chiller necessitará de uma potência de 18,6% de sua nominal para oferecer os 13,657 TR.

Como a potência nominal do chiller é de 64 kW, a nova potência utilizada será:

$$P_{chiller} = 64 \times 0,186 = 11,904 \text{ kW}$$

Assim, a projeção dos gastos com energia elétrica do chiller serão os indicados pela Tabela 8.

Tabela 8 - Projeção de gastos de energia elétrica com o chiller

PERÍODO	CONSUMO DE ENERGIA ANTIGO (kWh)	CONSUMO DE ENERGIA NOVO (kWh)
Diário	730,385	261,888
Mensal	18.990	6.809,088
Anual	227.880	81.709,056

Fonte: Autoria própria

5.13 BOMBA DE CALOR A SER INSTALADA

Com o objetivo de solucionar o problema proposto neste estudo, a KKT Chillers, empresa de origem alemã, através da sua representante no Brasil, Thermacqua, ofereceu uma bomba de calor especialmente desenhada para a Electrolux, denominada KWC-S126.

De acordo com a empresa representante Thermacqua, a empresa KKT Chillers é especialista em desenvolver bombas de calor específicas para cada processo, procurando o dimensionamento ideal, evitando assim perdas e desperdícios na instalação (THERMACQUA, 2014).

A empresa alemã, que está a trinta anos no mercado, busca se adequar às necessidades do cliente, assim como provar sua competência através de soluções e inovações em lugares com condições climáticas extremas, como o Vietnã, Sibéria e Omã (KKT, 2014).

A bomba de calor projetada para o processo deste trabalho, denominada KWC-S126. A Tabela 9 apresenta os dados técnicos desta bomba de calor:

Tabela 9 - Dados técnicos da bomba de calor KWC-S126

BOMBA DE CALOR KWC-S126	
Tensão de Alimentação	380V
Frequência	60 Hz
Temperatura de saída / Lado quente	55 °C
Temperatura de retorno	50 °C
Demanda do Compressor	55 kW
Potência Frio	98 kW
Potência Quente	149 kW
Coeficiente de Performance (COP)	2,7
Altura	1650 mm
Largura	902 mm
Comprimento	3500 mm
Peso	1200 kg

Fonte: THERMACQUA (2013).

5.14 ANÁLISE DE CUSTOS E RETORNO DE INVESTIMENTO

Neste capítulo, será feita uma breve análise dos custos da implementação do estudo proposto, salientando a viabilidade econômica da instalação da bomba de calor na fábrica 1 da Electrolux do Brasil.

5.14.1 Resumo dos custos operacionais do sistema atual

A Tabela 10 aponta os custos obtidos com a queima do gás natural, utilizando o boiler para o aquecimento da água.

Tabela 10 – Custo em períodos do sistema de aquecimento atual

PERÍODO	CONSUMO DE GÁS NATURAL (m³)	CUSTO (R\$)
Diário	426,923	601,96
Mensal	11.100	15.651,00
Anual	133.200	187.812,00

Fonte: Autoria própria

Para o resfriamento do setor de pintura, é utilizado o chiller de compressão, que por sua vez, possui os seguintes custos com energia elétrica:

Tabela 11 - Custo em períodos do sistema de resfriamento atual

PERÍODO	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	CUSTO (R\$)
Diário	730,385	146,08
Mensal	18.990	3.798
Anual	227.880	45.576

Fonte: Autoria própria

5.14.2 Resumo dos custos do sistema proposto

A Tabela 12 mostra os custos de energia elétrica da bomba de calor.

Tabela 12 - Custo em períodos do consumo de energia elétrica da bomba de calor

PERÍODO	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	CUSTO (R\$)
Diário	1.210	242,00
Mensal	31.460	6.292,00
Anual	377.520	75.504,00

Fonte: Autoria própria

Após a instalação da bomba de calor, o consumo de energia elétrica do chiller será reduzido, conforme mostra a Tabela 13:

Tabela 13 - Custo em períodos do sistema de resfriamento após a instalação da bomba de calor

PERÍODO	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (kWh)	CUSTO (R\$)
Diário	261,888	52,38
Mensal	6.809,088	1.362,82
Anual	81.709,056	16.341,81

Fonte: Autoria própria

5.14.3 Custos da implementação do estudo proposto e cálculo da economia anual

Em orçamento realizado pela empresa Thermacqua, os custos para a instalação da bomba de calor são divididos em duas partes, sendo elas:

- custo de importação da bomba de calor: R\$ 154.000,00;
- preço do serviço de Engenharia de Sistema, que é responsabilidade da Thermacqua: R\$ 7.500,00.

Levando em consideração que o custo do quilowatt-hora para a Electrolux é de R\$ 0,20, serão necessários para o cálculo da economia anual os seguintes dados:

- custo do consumo anual de energia elétrica do chiller de compressão sem a bomba de calor: R\$ 45.576,00;
- custo do consumo anual de energia elétrica do chiller de compressão com a bomba de calor: R\$ 16.341,81;
- custo do consumo anual de energia elétrica da bomba de calor: R\$ 75.504,00;
- economia anual com a redução do consumo de gás natural: R\$ 187.812,00.

Levantados todos os dados referentes aos custos da instalação da bomba de calor, é possível escrever a fórmula da economia anual que o novo sistema irá oferecer, sendo ela:

$$EA_{Total}(R\$) = (EA_{GN} + CA_{EE\ CA}) - (CA_{EE\ CN} + CA_{EE\ BC}) \quad (12)$$

Sendo:

$EA_{Total}(R\$)$ = Economia Anual Total do Novo Sistema

EA_{GN} = Economia Anual com a redução do Gás Natural

$CA_{EE\ CA}$ = Custo Anual de Energia Elétrica do Chiller sem a Bomba de Calor

$CA_{EE\ CN}$ = Custo Anual de Energia Elétrica do Chiller com a Bomba de Calor

$CA_{EE\ BC}$ = Custo Anual de Energia Elétrica da Bomba de Calor

Portanto:

$$EA_{TOTAL}(R\$) = (187.812,00 + 45.576,00) - (16.341,81 + 75.504,00)$$

$$EA_{TOTAL}(R\$) = 141.542,19$$

Através do resultado obtido, nota-se que a economia anual ocasionada pelo novo sistema será de R\$ 141.542,19.

5.14.4 Cálculo do prazo de retorno de investimento (PRI)

Através do método do Pay-Back simples, o qual desconsidera os efeitos da variação do dinheiro no tempo, é possível calcular em quanto tempo a Electrolux irá recuperar o valor investido através da Equação (13) (SEBRAE, 2014):

$$PRI = \frac{Investimento\ Total}{Lucro\ Líquido} \quad (13)$$

Em analogia aos dados da análise proposta, pode-se reescrever a Equação (13) da seguinte forma:

$$PRI = \frac{Investimento\ Total}{EA_{TOTAL}} \quad (14)$$

Tendo em vista que o investimento total é o preço da bomba somado aos serviços de instalação, tem-se que:

$$PRI_{meses} = \frac{161.500,00}{\frac{141.542,19}{12}} = 13,7 \text{ meses}$$

$$PRI_{anos} = \frac{161.500,00}{141.542,19} = 1,1 \text{ anos}$$

A Figura 22 mostra de forma ilustrativa o Gráfico do Prazo de Retorno de Investimento (PRI) que a Electrolux terá com a implementação do novo sistema:

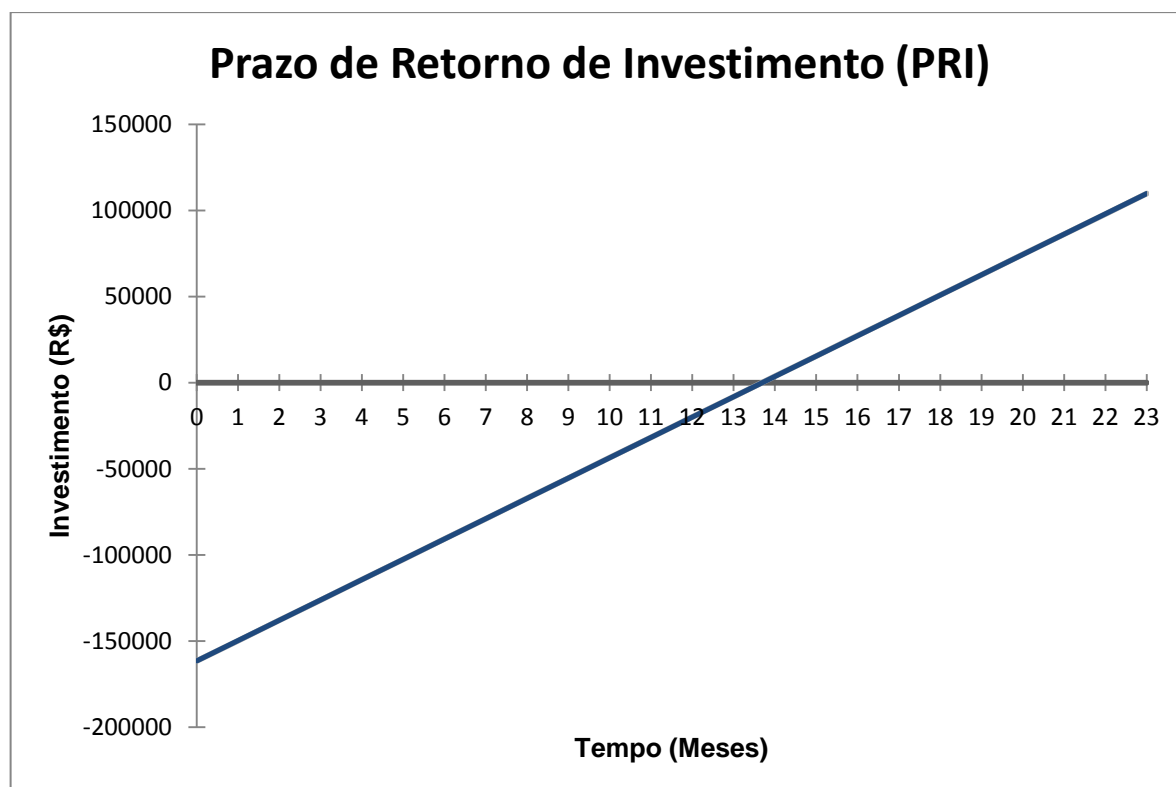


Figura 22 – Gráfico do Prazo de Retorno de Investimento (PRI).

Fonte: Autoria Própria.

Caso o estudo proposto seja implementado, é possível afirmar que a Electrolux do Brasil irá recuperar o investimento em 1,1 anos, ou em 13,7 meses, como mostra a Figura 22.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A finalidade deste trabalho é de verificar a viabilidade da instalação de uma bomba de calor no processo da pintura da fábrica 1 da Electrolux do Brasil do Guabirota – Curitiba/PR. A necessidade da troca do sistema de aquecimento, que é feito por meio de um boiler, para um de menor consumo de energia veio com a crescente preocupação com a sustentabilidade e, assim, com o programa de eficiência energética da empresa, o Green Spirit. Com a aplicação da bomba de calor é possível potencializar o ganho de energia, substituindo o boiler e ainda diminuindo a carga do chiller que resfria a cabine de pintura.

A bomba de calor é um equipamento que utiliza os princípios de funcionamento de um sistema frigorífico, retirando calor de um ambiente a ser resfriado e transferindo-o para um ambiente com déficit de energia térmica. Ela pode produzir a mudança de temperatura à base de compressão e expansão do fluido, ou à base de absorção de calor de um fluido de trabalho que eleva o ponto de ebulição do refrigerante. A bomba de calor é classificada de acordo com o fluido utilizado para a troca de calor e número de unidades do equipamento.

Aplicada no Brasil para aquecimento de piscinas, a bomba de calor não é utilizada amplamente na indústria. Quando se fala da utilização eficiente tanto do aquecimento quanto do resfriamento, a parcela é significativamente menor. A importância que a sustentabilidade e a eficiência energética tem recebido nos últimos anos assegura o mérito deste estudo, para que cada vez mais sejam divulgadas novas formas de se utilizar equipamentos, aproveitando o máximo que eles podem proporcionar.

O estudo apontou que a queima do gás natural apresenta 30% de desperdício de energia térmica ao aquecer a água do boiler. Aliada à alta emissão de dióxido de carbono na atmosfera, a substituição pelo sistema da bomba de calor apresentou uma alta margem de benefícios para a Electrolux.

Com a utilização da bomba de calor definida pelo estudo com o auxílio da Thermacqua, o modelo KWC-S126 da empresa KKT Chillers, o chiller de compressão, que hoje trabalha com aproximadamente 52% de sua potência para resfriar a sala de pintura, é capaz de reduzir este valor para cerca de 18,6%. A redução de gastos com gás natural e energia elétrica, mostra uma economia mensal

de R\$ 11.795,18, cerca de 40% do valor pago atualmente. Graças a esta redução, o cálculo do tempo de retorno do investimento demonstra que serão necessários aproximadamente 14 meses para que o valor investido na bomba de calor e sua instalação seja inteiramente retornado.

A temperatura garantida à sala de pintura com a instalação da bomba de calor aponta um \overline{IBUTG} igual a 25,53°C. Com a taxa de metabolismo média sendo 220 kcal/h, as condições de temperatura atendem a NR 15, que especifica um \overline{IBUTG} máximo de 28,5°C para um ambiente com esta faixa de taxa de metabolismo média.

Os ganhos dessa análise vão desde a preocupação da Electrolux do Brasil em diminuir o impacto causado ao meio ambiente, consumindo menos gás natural e eletricidade, até a divulgação para o público acadêmico e profissional sobre a utilização eficiente da bomba de calor nos processos industriais. O estudo mostra que este equipamento pode ser utilizado não só quando há a necessidade de aquecimento, mas também aproveitando a parcela de resfriamento, garantindo um retorno de investimento atrativo.

Com os resultados obtidos pela análise da instalação de uma bomba de calor no setor de pintura da fábrica 1 da Electrolux do Brasil, é crescente o interesse da empresa no estudo para instalação deste equipamento no setor de pintura da fábrica 2, que apresenta a mesma necessidade de reaproveitamento de energia para aquecimento de água e refrigeração de ambiente apontados no presente estudo.

O mundo globalizado aumenta cada vez mais a competitividade entre empresas, ao passo que a preocupação com a preservação do meio ambiente e o planejamento para o desenvolvimento sustentável tem sido pauta de estudos e conferências mundiais nas últimas décadas. Com isso, para continuarem saudáveis financeiramente, as companhias necessitam diminuir seu custo operacional e devem reduzir os impactos ambientais produzidos por suas atividades. Programas de eficiência energética e sustentabilidade ambiental, como o Green Spirit da Electrolux, são de grande importância para atingir esse objetivo. Porém, para que resultados interessantes sejam alcançados é preciso que a teoria se encontre com a prática, que as empresas se unam com a academia em busca de soluções. Esse estudo em conjunto com a Electrolux é um exemplo de como bons resultados podem vir com essa união.

REFERÊNCIAS

AGENCIA BRASIL. **Legislação ambiental brasileira é uma das mais modernas do mundo, diz especialista**. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-05-08/legislacao-ambiental-brasileira-e-uma-das-mais-modernas-do-mundo-diz-especialista>>. Acesso em 14 set. 2013.

AOKI, Alexandre R. **Determinação da Eficiência e da Aplicabilidade de Bombas de Calor em Clima Temperado Subtropical – Típico da Região Sul do País**. Disponível em: <www.espacoenergia.com.br>. Acesso em: 13 jul. de 2013.

Archiproducts. **Produtos de Arquitetura e Design**. Disponível em: <<http://www.archiproducts.com/>>. Acesso em: 10 set. 2013.

ASHRAE. **2009 ASHRAE handbook fundamentals**, Atlanta, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários. Parte 1: projetos das instalações, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Perguntas Frequentes**. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/>>. Acesso em 18 ago. 2013.

ATLAS. **Segurança e medicina do trabalho**, São Paulo, 7 jul. 2010.

BARBOSA, Gisele Silva. **O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. Publicado em 2008. Disponível em: <<http://www.controversia.com.br>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

BRASIL.GOV. **Legislação e órgãos**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/legislacao-e-orgaos>>. Acesso em 14 set. 2013.

BRASIL. Decreto-lei nº 5452, de 1º de maio de 1943. Aprova a Consolidação das leis do trabalho. **Diário oficial da União República Federativa do Brasil**, Rio de Janeiro, 1º mai. 1943. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm>. Acesso em 17 ago. 2013.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Legislação**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

CMC – CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Bombas de calor podem garantir economia de 80%**. Disponível em: <<http://www.cmc.pr.gov.br>>. Acesso em: 10 set. 2013.

CONVERTWORLD. **kWh, energia**. Disponível em: <<http://www.convertworld.com/pt/energia/kWh.html>>. Acesso em 11 jan. 2014.

DLUGOSZ, Emerson R.; GHAZAL, Jorge M.; SUZUKI, Rafael K. **Curitiba Facility Green Spirit Gold Certification**. Curitiba: Electrolux, 2012.

EA –Engenharia e Arquitetura. **Bombas de calor operam com energia residual**. Disponível em: <www.engenhariaearquitectura.com.br>. Acesso em: 21 jul. de 2013.

ELETROBRÁS – PROCEL EDUCAÇÃO. **Conservação de Energia – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. Itajubá: UFI, 2006.

El País. **¿Esla bomba de calor el sistema más eficiente de calefacción?**. Disponível em: <<http://blogs.elpais.com/eco-lab/>>. Acesso em: 20 jul. de 2013.

ELECTROLUX. **História – Electrolux Brasil**. Disponível em: <<http://www.electrolux.com.br/institucional/sobre-a-electrolux/Paginas/historia.aspx>>. Acesso em: 23 ago. de 2012.

EM DISCUSSÃO. **Evolução da lei ambiental brasileira**. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/codigo-florestal/senado-oferece-um-projeto-equilibrado-para-o-novo-codigo-florestal-brasileiro/evolucao-da-lei-ambiental-brasileira.aspx>>. Acesso em 14 set. de 2013.

ENESEP. **Sustentabilidade e Economia Usando Energia Solar: Aquecimento da Piscina da UTFPR**. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br>>. Acesso em 17 jan. de 2014.

ESPAÇO ENERGIA. **Determinação da eficiência e aplicabilidade de bombas de calor em clima temperado e subtropical – Típico da região sul do país. Primeira Fase**. Disponível em: <<http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/1/001-04.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2014.

FERREIRA, Ricardo. **Projecto de uma Bomba de Calor com aproveitamento de Energia Solar**. 2010. 111 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

GASMIG. **Gás Natural – Composição**. Disponível em: <<http://www.gasmig.com.br/Gas/Composicao.aspx>>. Acesso em: 21 jan. de 2014.

GASNET. **Gás Natural**. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/gasnatural/gas_completo.asp>. Acesso em: 22 jan. de 2014.

GEO THERMIE CONFORT. **Bomba de calor na água subterrânea**. Disponível em: <www.geothermie-confort.com>. Acesso em: 20 jul. de 2013.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>>. Acesso em: 23 ago. de 2012.

GROUP ELECTROLUX. **Dow Jones sustainability world index names Electrolux durable household products sector leader**. Disponível em: <<http://group.electrolux.com/en/dow-jones-sustainability-world-index-names->

electrolux-durable-household-products-sector-leader-2-14515/>. Acesso em: 13 fev. 2013.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física Volume 2 – Gravitação, Ondas e Termodinâmica** 8º. ed. LTC (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.): Rio de Janeiro, 1991.

HPC – Heat Pump Centre. **Centro de Informações e tecnologias de Bomba de Calor**. Disponível em: <www.heatpumpcentre.org>. Acesso em: 13 jul. de 2013.

HSW – How Stuff Works. **How Steam Engines Work**. Disponível em: <<http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam2.htm>>. Acesso em: 20 jan. de 2014.

IEA – International Energy Agency. **CO₂ Emission From Fuel Combustion**. Disponível em: <<https://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>>. Acesso em: 15 fev. de 2014.

JÚNIOR, José de Sena Pereira. **Legislação Brasileira sobre a poluição do ar**. Publicado em 2007. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

JURISAMBIENTE. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.jurisambiente.com.br/ambiente/historico>>. Acesso em 14 set. 2013.

KKT CHILLERS. **The Brand**. Disponível em: <<http://www.kkt-chillers.com/en/the-brand/>>. Acesso em 15 jan. 2014.

MEC - MINISTERIO DA EDUCAÇÃO. **EA Legal**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/secad/arquivos/pdf/educacaoambiental/ealegal.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2013

MINISTERIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 12** – segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, 17 dez. 2010. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/normas-regulamentadoras-1.htm>>. Acesso em 10 ago. 2013.

MINISTERIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 15** – atividades e operações insalubres, 08 dez. 2011. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/normas-regulamentadoras-1.htm>>. Acesso em 10 ago. 2013.

MME – MINISTÉRIO MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Eficiência Energética**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/PlanoNacEfiEnergetica.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

NORMAS REGULAMENTADORAS. **NR 12** – norma regulamentadora. Disponível em: <<http://www.normaregulamentadora.com.br/2008/06/06/nr-12/>>. Acesso em 25 ago. 2013.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Do Rio à Rio +20**. Publicado em 2012. Disponível em: <<http://www.onu.org.br>>. Acesso em: 4 ago. 2013.

PETROBRAS. **Densidade e poderes caloríficos superiores**. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/servicos/formulas-de-conversao/detalhe-formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores.htm>>. Acesso em: 18 jan. 2014.

PORTAL DO MEIO AMBIENTE. **As 17 leis ambientais mais importantes**. Disponível em: <<http://www.portaldomeioambiente.org.br/editoriaseditorias/sociedad-e-legislacao-direito-ambiental/537-as-17-leis-ambientais-mais-importantes->>. Acesso em 15 set. 2013.

RAPIDTABLES. **Refrigeration tons to kilowatts conversion**. Disponível em: <<http://www.rapidtables.com/convert/power/ton-to-kw.htm>>. Acesso em 17 jan. 2014.

RIO + 20. **Desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <http://www.rio20.gov.br/clientes/rio20/rio20/sobre_a_rio_mais_20/desenvolvimento-sustentavel.html>. Acesso em 25 fev. 2013.

SANTOS, Gizélia Oliveira dos; VALENÇA, Renato Fontes. **Desenvolvimento Sustentável: Responsabilidade Socioambiental nas Organizações**. Publicado em 2011. Disponível em: <<http://www.opet.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

SEBRAE. **Análise e Planejamento Financeiro**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/customizado/uasf/gestao-financeira/analise-financeira>>. Acesso em 15 jan. 2014.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. **Educação ambiental legal**. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/secad/arquivos/pdf/educacaoambiental/ealegal>>. Acesso em 14 set. 2013.

SESI-BA - SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA DEPARTAMENTO REGIONAL DA BAHIA. **Legislação comentada: NR 15 – Atividades e operações insalubres**, Salvador, 2008.

SILVA, Carlos E. **Aspectos de sustentabilidade no uso da água na utilização das lavadoras**. Disponível em: <http://www.sesisp.org.br/sustentabilidade/sumarios/sao_carlos/electrolux.pdf>. Acesso em 25 fev. 2013

THERMACQUA. **Tecnologia em Aquecimento Ltda**. Disponível em: <www.thermacqua.com.br>. Acesso em: 13 jul. de 2013.

TRANE. **Owner's manual**. Disponível em: <http://www.trane.com/Commercial/Uploads/Pdf/1059/rlc-prc027-en_1206.pdf>. Acesso em 27 jan. 2014.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Resource efficient and cleaner production**. Disponível em: < <http://www.unep.fr/scp/cp/>>. Acesso em 26 fev. 2013.

USDE – U.S. Department of Energy. **Industrial Heat Pumps for Steam and Fuel Savings (Bombas de calor industriais para economia de vapor e combustível)**. Disponível em: <www.eere.energy.gov>. Acesso em: 20 jul. de 2013.

UTFPR - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: UTFPR, 2008.

WWF - WORLD WIDE FUND FOR NATURE BRASIL. **O que é desenvolvimento sustentável?** Disponível em:<<http://www.wwf.org.br/>>. Acesso em 26 fev. 2013.