

Aos meus pais, Erni e Hilda, pelo amor e formação com que me imbuíram, nortando meus passos, e em especial à minha esposa Flávia, pelo carinho, apoio e incentivo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Paulo Renato Perez dos Santos, pelo profissionalismo e companheirismo, com os quais conduziu minha orientação nos trabalhos de pesquisa e na elaboração da dissertação.

Ao Colégio Técnico Industrial, na figura dos membros do Colegiado, pela liberação parcial de minhas atividades na escola para execução deste trabalho.

Aos meus colegas de Curso, pela confiança depositada e pelo incentivo para realização do Curso de Mestrado.

Aos professores Ivoni Acunha Júnior e principalmente Msc. Paulo Valério Saraçol, na colaboração com informações da área de refrigeração industrial e material cedido.

Ao amigo, professor Esp. Noracy José de Castro Filho, pelo auxílio no cumprimento das atividades no Colégio Técnico Industrial.

Ao amigo e companheiro de curso, Mário Augusto de Lima e Silva, pela ajuda nas incontáveis horas de estudo para obtenção dos créditos.

À CIRG, na pessoa de seu presidente, o Sr. Paulo Edson, muito prestativo no levantamento dos dados estatísticos das indústria de pescados de Rio Grande.

Ao Eng. Dílson do Valle Branco, assessor técnico da Pescal, Eng. De manutenção Leonardo Files Dias e ao encarregado da sala de máquinas Laudemar Arpino, pelo apoio e colaboração na execução das coletas de dados, assim como ao supervisor técnico da Torquato Pontes, Élio Ribeiro Pontes Neto e ao encarregado do setor de refrigeração André Malaquias.

Ao Eng. João Luiz Sobreiro Bulla, ao gerente de manutenção Eng. Sérgio Barcelos Divério e ao técnico de instrumentação Jorge Haddad Pagartanidis, do grupo petróleo Ipiranga, pela calibração dos instrumentos de medição.

De um modo geral, à todos aqueles, que de alguma forma colaboraram com sugestões, críticas e incentivos, ou mesmo que indiretamente tiveram participação para concretização do mesmo.

## RESUMO

Este trabalho aborda, a influência da contaminação por água, sobre a eficiência energética de uma instalação de refrigeração mecânica funcionando com fluido refrigerante R-717. O estudo toma como base as amostras de refrigerante coletadas e as grandezas termodinâmicas levantadas em pesquisa de campo realizadas nos sistemas de refrigeração da indústria pesqueira local. Com as informações obtidas e utilizando o pacote computacional *CoolPack*, foram calculadas as performances dos ciclos termodinâmicos operando com o fluido anidro e contaminado com água em diversas concentrações. Mostra-se por meio desse estudo, que a contaminação por água, normalmente negligenciada, deve ser considerada como um dos parâmetros mais significativos na avaliação do potencial de economia de energia destas instalações.

Palavras-chave: R-717, contaminação por água, eficiência do ciclo termodinâmico.

## ABSTRACT

This work approaches, the influence of the contamination for water, on the energy efficiency of an installation of mechanical refrigeration working with fluid soda R-717. The study takes as base the soda samples collected and the lifted up thermodynamic greatness in field research accomplished in the systems of refrigeration of the local fishing industry. With the obtained information and using the software *CoolPack*, the performances of the thermodynamic cycles were calculated operating with the fluid anhydrous and polluted with water in several concentrations. It is shown by middle of that study, that the contamination for water, usually neglectful, it should be considered as one of the most significant parameters in the evaluation of the potential of economy of energy of these facilities.

Key-words: R-717, contamination for water, efficiency of the thermodynamic cycle.

# SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS .....	9
LISTA DE ABREVIATURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
LISTA DE FIGURAS .....	15
1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1 MOTIVAÇÃO.....	18
1.2 OBJETIVO.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1 REFRIGERAÇÃO MECÂNICA POR MEIO DE VAPORES.....	23
2.1.1 Ciclos Termodinâmicos de Refrigeração.....	23
2.1.2 Volumes de Controle.....	32
2.1.3 Eficiência e Rendimento do Ciclo Termodinâmico de Refrigeração.....	36
2.1.4 Parâmetros Operacionais Térmicos para Variação do COP.....	40
2.2 FLUIDO REFRIGERANTE R-717.....	43
2.2.1 Propriedades.....	43
2.2.2 Aplicação Industrial.....	45
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	53
3.1 CONTAMINAÇÃO DO R-717 POR ÁGUA.....	53
3.2 ALTERAÇÃO DO COP PELA CONTAMINAÇÃO DO R-717 POR ÁGUA....	65
4. ESTUDO DE CASO.....	69
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	69
4.1.1 Identificação das Instalações de Refrigeração Pesquisadas.....	69
4.1.2 Procedimento para Coleta de Amostra de R-717 Contaminado.....	70
4.1.3 Metodologia para Determinação do Volume da Solução de Água com R-717..	74
4.1.4 Cálculo do Percentual de Água na Carga de R-717 da Instalação.....	82

4.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	87
4.2.1 Determinação da Queda na Pressão de Ebulição.....	87
4.2.2 Parâmetros e Dados de Entrada e Saída do <i>Software CoolPack</i> .....	89
4.2.3 Simulação de um Sistema Contaminado com Água.....	96
4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	99
5. CONCLUSÕES.....	103
ANEXOS.....	104
A. TABELA DE R-717 SATURADO.....	104
B. DIAGRAMA PH PARA O R-717.....	105
C. DIAGRAMAS PSICROMÉTRICOS.....	106
C.1 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA TEMPERATURAS NORMAIS.....	106
C.2 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO PARA BAIXAS TEMPERATURAS.....	107
D. PROPRIEDADES DA MISTURA DE R-717 COM ÁGUA.....	108
D.1 CONTEÚDO DE R-717 EM ÁGUA.....	108
D.2 TEMPERATURAS DE SATURAÇÃO PARA MISTURAS DE R-717 COM ÁGUA.....	109
D.3 PONTOS DE SOLIDIFICAÇÃO DA MISTURA DE R-717 COM ÁGUA.....	110
D.4 FATOR DE EVAPORAÇÃO – EF.....	111
E. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	112
E.1 TERMÔMETRO DIGITAL.....	112
E.2 MULTÍMETRO DIGITAL.....	113
E.3 FICHA DE CALIBRAÇÃO DO MANOVACUÔMETRO.....	114
E.4 CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO INSTRUMENTO PADRÃO.....	115
F. IDENTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES AVALIADAS.....	117
F.1 INDÚSTRIA DE PESCADOS PESCAL S/A.....	117
F.2 TORQUATO PONTES PESCADOS S/A.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	121