

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Marco Antonio Medeiros dos Santos

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA UTILIZAÇÃO DE
INSUMOS ALTERNATIVOS EM UM SISTEMA DE
RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO APLICADO
AO CONDICIONAMENTO DE AR**

**Dissertação apresentada ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté, para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica.
Área de concentração: Energia e Gestão Ambiental
na Indústria
Orientador: Prof. Dr. José Rui Camargo**

**Taubaté
2005**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARCO ANTONIO MEDEIROS DOS SANTOS

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA UTILIZAÇÃO DE INSUMOS
ALTERNATIVOS EM UM SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-
ADSORTIVO APLICADO AO CONDICIONAMENTO DE AR**

**Dissertação apresentada ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté, para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica.
Área de concentração: Energia e Gestão Ambiental
na Indústria**

Data: 1º de Julho de 2005

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Rui Camargo

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Sebastião Cardoso

Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Carlos Daniel Ebinuma

Universidade _____

Assinatura: _____

DADOS CURRICULARES

MARCO ANTONIO MEDEIROS DOS SANTOS

NASCIMENTO: 27.09.1966 – CAÇAPAVA – SP.

FILIAÇÃO: José Medeiros dos Santos
Amélia Blache dos Santos

1985/1989 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade de Taubaté – UNITAU

2003/2005 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado
no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté - UNITAU.

PRODUÇÃO CIENTÍFICA:

SANTOS M. A. M., CAMARGO J. R., GODOY E. Jr. Análise técnica e econômica do uso de água pluvial e de calor residual para condicionamento de ar. **Anais do IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, ABES, Porto Alegre-RS, 2004.

Aos meus pais José e Amélia, com amor, admiração e gratidão pelos anos em que dedicaram seus esforços para minha formação moral, espiritual e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Rui Camargo, pela atenção, definição e orientação nesse trabalho, pela paciência, ajuda incondicional e conhecimentos transmitidos na área de energia e termodinâmica;

Ao Prof. Ederaldo Godoy Jr., pela motivação, atenção e conhecimentos transmitidos, principalmente, na área de conservação de energia e aproveitamento de água pluvial;

Ao Prof. Dr. Sebastião Cardoso, pelo incentivo, correções técnicas e conhecimentos transmitidos na área térmica, fenômenos de transportes e trocadores de calor;

Ao Prof. Dr. Carlos Daniel Ebinuma, pela atenção, correção e colaboração nos resultados da minha qualificação e pelas sugestões de melhoria nesse trabalho;

A todos os professores da turma de mestrado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, sub-área de Energia e Gestão Ambiental na Indústria;

Aos amigos de trabalho, em especial Cleber Moreira Corrêa, Antonio Carlos Orbolato, pelos ensinamentos e incentivo ao longo desses anos, Antonio Baú Segarra pela motivação e incentivo no meu ingresso ao mestrado, Carlos Alberto Ribeiro e Francisco João Pereda de Ponce pela confiança depositada nesses anos de profissão;

À Johnson & Johnson pela formação profissional e consciência pelo meio ambiente e conservação de energia;

À memória do Sr. Mauro Moreira Marialva pela oportunidade que me deu em trabalhar na área de Utilidades e Energia na Johnson & Johnson, departamento esse que se destaca pela competência e profissionalismo, características marcadas em sua administração.

“Recomeçar sempre. Melhorar sempre. Não ter paz, enquanto cada dia não se tornar um degrau mais alto na união com Deus, em relação ao dia precedente... e fazer da vida uma escalada.”

Chiara Lubich

SANTOS, MARCO A. M. **Análise técnica e econômica para utilização de insumos alternativos em um sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo aplicado ao condicionamento de ar.** 2005. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté – UNITAU, Taubaté-SP.

RESUMO

Este trabalho desenvolve o estudo da utilização de insumos alternativos em um sistema de condicionamento de ar eco-eficiente, composto por um sistema evaporativo-adsortivo associado a um sistema de aproveitamento de água pluvial e do calor residual de processo. Os sistemas de resfriamento evaporativo utilizam a evaporação da água através da passagem de um fluxo de ar, reduzindo a temperatura de bulbo seco do ar. São sistemas com grande potencial de utilização em locais onde a umidade do ar é baixa. Em um ambiente industrial, situado em regiões onde a umidade relativa do ar é alta, esse sistema pode utilizar desumidificadores de ar acionados pelo calor residual de processo, tornando-se bastante eficiente para o conforto humano. O sistema proposto utiliza água pluvial nos resfriadores evaporativos e analisa a possibilidade de uso de gás natural, vapor, condensado de vapor de processo e gases de combustão de caldeira como fonte de reativação do material adsorvente. O sistema proposto é bastante conveniente, uma vez que é econômico energeticamente, aproveita a água de chuva coletada e o calor residual do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema evaporativo-adsortivo, Água de chuva, Calor residual, Resfriamento evaporativo, Desumidificação por adsorção, Conforto térmico.

SANTOS, MARCO A. M. **Technical and economical analysis for use of alternatives utilities in an evaporative system and desiccant cooling system applied to air conditioning**. 2005. 83 f. Dissertation (Master's degree of Mechanical Engineering) – University of Taubaté – UNITAU, Taubaté-SP.

ABSTRACT

This work develops the study of the use of alternatives utilities in an echo-efficient air conditioning system, composed by an evaporative-desiccant system associated to a system that uses pluvial water and residual heat of process. The evaporative-desiccant system uses the evaporation of water through the passage of an air flow reducing the dry bulb temperature. These systems have great potential to the use in places where the humidity of air is low. In an industrial environment, situated in regions where the relative humidity of air is high, this system can use dehumidifiers of air employing residual heat of process, becoming quite enough efficient for the human comfort. The proposed system uses pluvial water in the evaporative-desiccant system and analyzes the possibility for use of the natural gas, steam, condensate steam of process and gases of combustion of boiler as source of reactivation of the material desiccant. The proposed system is quite convenient, since saving energy, they use the collected rain water and the residual heat of the process.

KEYWORDS: Evaporative cooling, Desiccant dehumidification, Thermal comfort, Rainfall

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Sistema de resfriamento evaporativo com aspersão	25
FIGURA 2.2 - Sistema de resfriamento evaporativo através de colméia	26
FIGURA 2.3 - Resfriador evaporativo tipo spray com circulação constante de água	27
FIGURA 2.4 - Resfriador evaporativo indireto: (a) tipo placa, (b) tipo tubo	27
FIGURA 2.5 - Desumidificador tipo torre	29
FIGURA 2.6 - Desumidificador tipo cilindro rotativo	29
FIGURA 2.7 - Resfriamento evaporativo com pré-desumidificação por adsorção	30
FIGURA 2.8 - Sistema de resfriamento evaporativo acoplado a um desumidificador	32
FIGURA 2.9 - Processos psicrométricos para o sistema proposto	32
FIGURA 3.1 - Esquema de aquecimento do ar de Reativação	34
FIGURA 3.2 - Índice Pluviométrico. Fonte: Inmetro http://www.inmet.gov.br/	42
FIGURA 3.3 - Filtro Volumétrico e filtro para descida do tubo vertical	44
FIGURA 3.4 - Freio d'água, conjunto flutuante de sucção e sifão-ladrão	44
FIGURA 4.1 - Amortização dos investimentos dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva	63
FIGURA 4.2 - Amortização dos investimentos dos SISREAD's com aproveitamento da água de chuva	64
FIGURA 4.3 - Retorno de investimento dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva	65
FIGURA 4.4 - Retorno de investimento dos SISREAD's com aproveitamento da água de chuva	65
FIGURA 4.5 - Retorno de investimento do Caso VI em relação ao Caso I	66
FIGURA 4.6 - Retorno de investimento dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva (apenas para fonte de calor)	67
FIGURA 4.7 - Retorno de investimento dos SISREAD's com aproveitamento da água de chuva (apenas para fonte de calor)	68

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Precipitações de chuvas em mm	43
TABELA 3.2 - Dimensionamento do Reservatório de água	43
TABELA 4.1 - Características técnicas do “ <i>self contained</i> ”, fonte “ <i>Spring Carrier</i> ”	46
TABELA 4.2 - Resumo dos Investimentos para um sistema de condicionamento de ar 10,8 TR	48
TABELA 4.3 - Resumo dos Investimentos para SISREAD com energia elétrica para reativação	51
TABELA 4.4 - Resumo dos Investimentos para um SISREAD com gás natural para reativação	53
TABELA 4.5 - Resumo dos Investimentos para um SISREAD com vapor para reativação	55
TABELA 4.6 - Resumo dos Investimentos para SISREAD com condensado de vapor para reativação	57
TABELA 4.7 - Resumo dos Investimentos para SISREAD com gases de combustão para reativação	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
RED	resfriador evaporativo direto
REI	resfriador evaporativo indireto
REIR	resfriador evaporativo indireto regenerativo
SISREAD	sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo
TR	tonelada de refrigeração
kg _{VP}	quilos de vapor
kg _{OC}	quilos de óleo combustível
Nm ³	normais metros cúbicos (condições normais de pressão e temperatura)
m ³ _{ARR}	metros cúbicos de ar resfriado

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{GC}	Área do duto para os gases de combustão de caldeira	m^2
C	coeficiente de runoff	[1]
$C_{ÁGUA}$	custo da água (rede pública)	US\$/ m^3
$C_{DÓLAR}$	custo do dólar	R\$/US\$
C_{EBCV}	custo da energia elétrica para bomba de condensado de vapor	US\$/mês
C_{EE}	custo da energia elétrica	US\$/kWh
C_{GN}	custo do gás natural	R\$/ m^3
C_{OCV}	custo do óleo consumido para recuperação do condensado de vapor	US\$/mês
$C_{ÓLEO}$	custo do óleo combustível	US\$/ kg_{OC}
C_{VP}	custo do vapor	US\$/Kg
CI_{AP}	custo total da inst. para aprov. da água de chuva	US\$/TRh
CI_{EE}	custo de energia elétrica para bombas, ventiladores e equipamentos	US\$/TRh
CI_{FC}	custo do insumo para a fonte de calor	US\$/TRh
CI_{RE}	custo dos insumos para os resfriadores evaporativos	US\$/TRh
CS	carga térmica do sistema	TR
CUI	custo de utilização dos insumos	US\$/TRh
CO	custo operacional dos sistemas	US\$/TRh
CP_{AG}	calor específico da água	$kJ/kg\ K$
CP_{AR}	calor específico a pressão constante do ar seco	$kJ/kg\ K$
CP_{GC}	calor específico dos gases de combustão da caldeira	$kJ/kg\ K$
CTI	custo total do investimento	US\$/TRh
D	diâmetro do duto para os gases de combustão de caldeira	m
GN_C	gás natural consumido	$m^3/mês$
f	fator de anuidade	1/ano
h_e	entalpia específica de entrada do condensado de vapor no trocador	kJ/kg
h_L	entalpia específica do líquido saturado	kJ/kg
h_{LV}	entalpia de vaporização	kJ/kg
h_s	entalpia específica de saída do condensado de vapor no trocador	kJ/kg
h_v	entalpia específica do vapor saturado	kJ/kg
H	período equivalente de utilização do sistema	h/ano
I_{BB}	Investimento das bombas	US\$

I_{CE}	Investimento das unidades condensadora/evaporadoras	US\$
I_{DT}	Investimento dos dutos, grelhas e difusores	US\$
I_{MD}	Investimento do módulo dessecante	US\$
I_{RE}	Investimento dos resfriadores	US\$
I_{VE}	Investimento dos ventiladores	US\$
Π_{FC}	Investimento das instalações de insumo para fonte de calor	US\$
Π_{FR}	Investimento da instalação frigorígena	US\$
Π_{EE}	Investimento da instalação elétrica	US\$
Π_{RE}	Investimento das instalações da água para os resfriadores evaporativos	US\$
ITE	Investimento total de equipamentos	US\$
ITI	Investimento total das instalações de insumos	US\$
IPL	Investimento total de implantação dos projetos	US\$
k	tempo	anos
\dot{m}_{CV}	fluxo de massa do condensado de vapor	kg/s
\dot{m}_{GC}	fluxo de massa do condensado de vapor	kg/s
OC_C	óleo combustível consumido	kg/mês
P_{ARR}	preço do ar resfriado	US\$/TRh
P_{CV}	potência consumida para recuperação de condensado de vapor	kJ/s
P_{INST}	potência instalada para o ar de reativação	kJ/s
P_{REQ}	potência requerida para o ar de reativação	kJ/s
P_{BCV}	potência da bomba de condensado	kW
P_{BAP}	potência da bomba de água pluvial	kW
PC_{GN}	poder calorífico do gás natural	kJ/Nm ³
$PC_{ÓLEO}$	poder calorífico do óleo combustível	kJ/Nm ³
P_{CV}	pressão do condensado de vapor	kPa
P_{VP}	pressão do vapor	kPa
R	receita	US\$/ano
r	taxa de juros ao ano	%
T	temperatura	°C
TBS	temperatura de bulbo seco	°C
TBU	temperatura de bulbo úmido	°C
TC	taxa de consumo de óleo combustível na caldeira	kg _{VP} /kg _{OC}
TPO	temperatura de ponto de orvalho	°C

$\dot{V}_{\text{ÁGUA}}$	vazão volumétrica de água utilizada nos resfriadores evaporativos	m^3/h
\dot{V}_{AR}	vazão volumétrica de ar	m^3/s
\dot{V}_{ARR}	vazão volumétrica média de ar resfriado	$\text{m}^3_{\text{ARR}}/\text{h}$
\dot{V}_{GC}	vazão volumétrica dos gases de combustão de caldeira	m^3/s
V_{GC}	velocidade dos gases de combustão de caldeira	m/s
$\dot{V}b_{\text{CV}}$	vazão volumétrica da bomba de condensado de vapor	m^3/s
$\dot{V}b_{\text{AP}}$	vazão volumétrica da bomba para água pluvial	m^3/s
VP_{C}	vapor consumido	$\text{kg}/\text{mês}$
v_{CV}	volume específico do condensado de vapor	m^3/kg
v_{GC}	volume específico dos gases de combustão	m^3/kg
v_{CV}	volume específico do condensado de vapor	m^3/kg
UB_{CV}	utilização da bomba de condensado	$\text{h}/\text{mês}$
UB_{AP}	utilização da bomba de água pluvial	$\text{h}/\text{mês}$

LETRAS GREGAS

ϵ_d	efetividade do resfriador evaporativo direto (saturação)	[1]
ϵ_i	efetividade do resfriador evaporativo indireto	[1]
?	eficiência	[1]
$?_{\text{AR}}$	massa específica	kg/m^3
$?_{\text{T}}$	diferença de temperatura	$^{\circ}\text{C}$

SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
LISTA SÍMBOLOS	12
CAPÍTULO 1 CONTEXTO E IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO E DESUMIDIFICADORES ADSORTIVOS	
1.1 INTRODUÇÃO	18
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	18
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
CAPÍTULO 2 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA EVAPORATIVO-ADSORTIVO	
2.1 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	23
2.1.1 Tipos de resfriadores evaporativos	25
2.2 DESUMIDIFICAÇÃO POR ADSORÇÃO	28
2.2.1 Tipos de desumidificadores	28
2.2.2 Sistema evaporativo com pré-desumidificação	29
2.3 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO	30
2.3.1 Configuração do sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD)	31
2.3.2 Ciclo psicrométrico	32

CAPÍTULO 3 ANÁLISE DOS INSUMOS CONSUMIDOS NO SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO

3.1	DADOS E CONSIDERAÇÕES DO PROJETO EM ANÁLISE	33
3.2	ANÁLISE DOS INSUMOS CONSUMIDOS NO PROCESSO DE REATIVAÇÃO	33
3.2.1	Energia elétrica	34
3.2.2	Gás natural	35
3.2.3	Vapor	36
3.2.4	Condensado de vapor	37
3.2.5	Gases de combustão da caldeira	39
3.3	ANÁLISE DA ÁGUA CONSUMIDA NO PROCESSO DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO	41
3.3.1	Água da rede pública	41
3.3.2	Aproveitamento da água de chuva	41
3.3.3	Dimensionamento da cisterna para aproveitamento da água de chuva	42
3.3.3.1	Precipitações de chuva	42
3.3.3.2	Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl	43
3.3.3.3	Dispositivos usados em reservatórios de armazenamento de chuva	43
3.3.3.4	Dimensionamento do reservatório de auto-limpeza	44
3.3.3.5	Custo total da instalação	45

CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1	SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR CONVENCIONAL	46
4.1.1	Composição de custos	46
4.2	SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO	48
4.2.1	SISREAD com utilização de energia elétrica para reativação do dessecante	49
4.2.2	SISREAD com utilização de gás natural para reativação do dessecante	51
4.2.3	SISREAD com utilização de vapor para reativação do dessecante	53

4.2.4	SISREAD com utilização de condensado de vapor para reativação do dessecante	56
4.2.5	SISREAD com utilização de gases de combustão de caldeira para reativação do dessecante	58
4.2.6	SISREAD's associados ao custo do aproveitamento da água de chuva para os resfriadores evaporativos	60
4.3	ANÁLISE ECONÔMICA	60
4.3.1	Método utilizado para análise econômica	60
4.3.2	Amortização dos investimentos para os SISREAD's ao longo do tempo	62
4.3.3	Retorno de investimento dos SISREAD's	64
4.3.4	Análise econômica dos investimentos a longo prazo do Caso VI comparado com o Caso I	66
4.3.5	Análise econômica para potência consumida nas fontes de calor utilizadas nos SISREAD's em relação ao Caso II	66
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES		69
REFERÊNCIAS		71
APÊNDICE		75

CAPITULO 1 CONTEXTO E IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO E DESUMIDIFICADORES ADSORTIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

O atual apelo mundial para a conscientização ecológica, coloca os estudos de engenharia voltados para uma preocupação com a eco-eficiência, assumindo posições importantes perante o uso de tecnologias que levam em conta o fator central que é o homem, seu conforto e sua relação com o meio-ambiente. É evidente que o uso racional da água e o reaproveitamento máximo da energia, principalmente nas indústrias, favorecem não só o lado financeiro e econômico, mas também, o lado ambiental tendo como foco principal o desenvolvimento sustentável "permanente" do homem no universo.

Conforme CAPRA (2003), “o capitalismo global não terá futuro se não for projetado para ser ecologicamente sustentável e para respeitar os direitos e valores humanos”. É com essa consciência que se propõe esse trabalho, acreditando que as atividades industriais podem desempenhar um papel ecológico decisivo com respeito à existência, manutenção e qualidade de vida.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Esse trabalho visa apresentar um sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo de uso industrial, ecologicamente correto e, que possua um bom desempenho no resfriamento de ambientes, tanto em condições de baixo como de alto índice de umidade relativa do ar.

Também é objetivo do trabalho analisar técnica e economicamente a implantação do sistema proposto em uma instalação predial industrial, aproveitando a água de chuva coletada pelos telhados e o calor residual de processos inerentes à própria indústria. Assim, é analisada a utilização de insumos alternativos como fonte de calor para regeneração do adsorvente, quais sejam: a) energia elétrica; b) gás natural; c) vapor; d) condensado de vapor; e) gases de combustão de caldeira.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

WATT (1963) realizou a primeira análise rigorosa dos sistemas evaporativos direto e indireto, enumerando suas vantagens e desvantagens, indicando suas aplicações e estabelecendo considerações sobre o projeto. Pode-se dizer que, a partir de seus trabalhos, a refrigeração evaporativa começou a ser investigada cientificamente.

SCHIBUOLA (1997) comenta que, nas aplicações de ar condicionado tradicionais, nas quais a serpentina de resfriamento desumidifica o ar, é possível aumentar a reutilização do ar de retorno para recuperar energia. O sistema apresentado por ele utiliza o resfriamento evaporativo para pré-resfriar o ar de retorno e trocadores de calor para resfriar o ar externo captado.

FOSTER (1998) apresenta dados de desempenho, de economia de energia, de benefícios e de manufatura de sistemas evaporativos para diversas cidades nos EUA e no México.

CARDOSO et al (1999) desenvolveram um trabalho no qual é apresentado um sistema com pré-desumidificação por adsorção e são feitos comentários a respeito de vaporização da água em pressões abaixo da pressão atmosférica e da utilização de um sistema ar/vapor d'água/combustível para aplicação automotiva.

CAMARGO & EBINUMA (2001) apresentam os princípios básicos de funcionamento e considerações técnicas para a utilização do resfriamento evaporativo em condicionamento de ar para conforto térmico humano, discorrendo a respeito de sistemas de resfriamento evaporativo direto, indireto, multi-estágios e de sistemas híbridos. Apresentam, ainda, alguns benefícios ambientais e econômicos resultantes da utilização eficiente desses sistemas.

YANJUN et al (2000) analisam um sistema híbrido composto de uma seção de desumidificação por adsorção, resfriamento evaporativo e sistema por compressão de vapor e demonstram que a produção de frio deste sistema aumenta de 20% a 30% e que o coeficiente de desempenho aumenta de 20% a 40% quando comparado com o sistema por compressão de vapor.

ZHANG & NIU (2001), propõem um novo sistema de resfriamento com dessecante: um controle ambiental com pré-resfriamento Munters (PMEC) que combina com os painéis de resfriador de teto. Um modelo matemático do sistema é fornecido e usado para mostrar o desempenho do sistema sob as condições de tempo do sudeste da China usando cálculos horários. Os resultados indicam que o resfriador de teto combinado com climatização por dessecante poderia conservar até 40% do consumo de energia preliminar, em comparação com um sistema

convencional de volume constante. Mais de 99% das horas anuais de operação para regeneração do dessecante, poderia ser realizado pelo baixo calor requerido (temperatura menor que 80°C) com o pré-resfriamento, enquanto que 30% das horas anuais de operação em um sistema sem pré-resfriamento necessitam de calor acima com temperatura acima dos 80°C.

NIU et al (2001), propôs um sistema de HVAC combinado com um condicionador de teto com climatização por dessecante para climas quentes e úmidos aonde a desumidificação do ar é requerida e onde a umidade interna deverá ser mantida em uma zona de conforto, sendo reduzido o risco de contaminação do condensado em painéis de resfriamento. Com esse sistema, o controle de temperatura e umidade é amenizado pelo uso de roda dessecante para remoção de umidade e pelo uso de painéis para controle de temperatura. Para avaliar o desempenho do sistema e a economia de energia potencial, são considerados 3 outros sistemas para um escritório típico em Hong Kong: sistema convencional, sistema com recuperação total de calor e resfriador de teto com AHU. Os resultados indicam que condicionadores de teto combinados com climatização por dessecantes podem economizar até 44% de energia primária consumida, em comparação ao sistema convencional, sendo que mais de 70% das horas anuais de operação para dessecantes regenerativos podem ser realizadas abaixo de 80°C.

HALLIDAY et al (2002), analisam a viabilidade do uso de energia solar para regeneração de dessecantes utilizados em condicionamento de ar tanto para resfriamento quanto para desumidificação. Avaliam as instalações de sistema de resfriamento com dessecantes, instaladas no sudeste e região central da Inglaterra e também na região central da Escócia. O artigo demonstra que a energia solar é uma solução praticável para sistemas de resfriamento e aquecimento em edifícios no Reino Unido.

MAVROUDAKI et al (2002), apresenta os resultados de um estudo em que um modelo de dessecante solar foi usado para avaliar o uso da energia solar em um sistema de climatização por dessecante em várias localidades no sul da Europa, já que estes sistemas foram usados somente no norte da Europa. Esse estudo mostra que é praticável o uso de sistema de climatização por dessecante com energia solar também nas partes do sul europeu, contanto que as cargas de calor latente não sejam excessivas. Entretanto, se as umidades relativas forem elevadas, torna-se praticável o uso de energia solar simplesmente porque as temperaturas requeridas serão excessivas.

DAOU et al (2004), fizeram uma revisão técnica sobre os sistemas de ar condicionado que utilizam dessecantes, ressaltando sua aplicabilidade em diversos climas e mostrando também sua comprovada vantagem em termos energéticos e economia de custo operacional. Ilustram com alguns

exemplos como sua tecnologia simples pode ser um complemento para melhorar a eficiência do sistema de condicionamento de ar tradicional por compressão à gás, sistema de resfriamento evaporativo e resfriamento radiante através de condicionadores de teto ou “*chilled-ceiling*”. Mostram ainda que os materiais dessecantes, quando associados ao resfriamento evaporativo e o “*chilled-ceiling*”, podem tornar esses sistemas aplicáveis sob diversas circunstâncias climáticas. Sua contribuição na melhoria da qualidade do ar, na redução de custos, economia de energia e proteção ambiental, faz com que o seu emprego seja mais atrativo no momento em que os recursos de energia e degradação ambiental se tornam preocupações freqüentes no mundo globalizado. Ainda que o condicionamento de ar por sistemas adsorptivos seja penalizado pela energia requerida para sua regeneração, essa revisão demonstra que a economia de energia é significativa pois permite o emprego de energia solar e também de calor residual. Fazem também uma abordagem sob o ponto de vista da qualidade do ar, ressaltando a sua capacidade de remover os poluentes e sua natureza amigável com o meio ambiente, fazendo sua tecnologia mais apropriada e oportuna.

KANOGLU et al (2003), desenvolvem um procedimento para análise energética e exergética aplicadas a uma unidade experimental que opera com ventilação natural tendo como dessecante a peneira molecular (zeolite). Esses procedimentos podem ser facilmente aplicados às unidades que operam no modo de recirculação e nesse estudo são apresentados parâmetros de coeficiente de desempenho (COP) para eficiência dos componentes do sistema. São também derivadas a destruição exergética e a eficácia da exergia para o sistema e seus componentes, bem como o coeficiente de desempenho reversível. Esse procedimento mostra que a análise exergética pode fornecer informação útil com respeito ao limite superior teórico do desempenho do sistema, que não pode ser obtido pela análise simples da energia. A análise permite ainda que se identifique e quantifique os locais com perdas de exergia e conseqüentemente mostra o sentido para minimização de perdas exergéticas aproximando-se do COP reversível.

CAMARGO (2003) apresentou um estudo dos potenciais e limitações de sistemas de condicionamento de ar por resfriamento evaporativo e evaporativo-adsorptivo quando utilizados com o objetivo de propiciar conforto térmico ao homem e reduzir o consumo de energia. Apresentou também o princípio de funcionamento de sistemas de resfriamento evaporativo e de desumidificadores por adsorção. Foram analisados os resultados obtidos nos ensaios de desempenho de um resfriador evaporativo direto e propôs um novo sistema, na qual poderá ser utilizado em regiões em que as condições de conforto não podem ser supridas apenas pelo resfriamento evaporativo. Concluiu-se que a aplicação de sistemas de resfriamento evaporativo acoplados a um desumidificador adsorptivo apresentam perspectivas promissoras, principalmente

onde existem fontes de calor residual e de baixo custo disponível. Demonstrou-se a viabilidade da utilização do sistema por ele proposto, para o conforto humano em regiões de clima úmido como uma alternativa aos sistemas convencionais de condicionamento de ar, poupando energia e protegendo o meio ambiente.

JEONG & MUMMA (2004), pesquisaram e desenvolveram correlações práticas da eficácia da roda entálpica útil para projeto e análise do sistema integrado. Nesta pesquisa, os dados do desempenho da roda entálpica foram analisados estatisticamente usando modelos fundamentais estabelecidos. E então, as equações da regressão linear de primeira ordem foram derivadas para estimar a eficácia sensível e latente da roda entálpica que opera em condições normais de velocidades rotatórias (isto é sobre 20 RPM). Os dois materiais dessecantes mais comuns, a sílica gel e a peneira molecular na carcaça de alumínio, foram analisados. Relacionam a eficácia sensível e latente da roda entálpica em função de seis parâmetros: ar de entrada, ar de saída, temperatura, umidade relativa, velocidade de face e a relação da vazão de ar. A eficácia da roda entálpica, desprezando as condições do ar, pode então simplesmente ser estimada empregando as correlações práticas. Nesta pesquisa os valores da eficácia obtidos foram bem correspondidos com os dados publicados pelo fabricante de roda entálpica.

CUI et al (2005), analisaram as propriedades de novos dessecantes obtendo resultados satisfatórios em relação aos dessecantes mais comumente usados, como a sílica-gel, cloreto de lítio e a peneira molecular 13x. Embora a sílica-gel seja um dessecativo com desempenho elevado, esse material pode também ter sua vida útil diminuída após uma grande adsorção de água e não é um material resistente ao calor. O Cloreto de lítio pode adsorver muita água, mas a adsorção química reduzirá a capacidade de resfriamento e o cloreto de lítio é corrosivo ao equipamento quando alcança a saturação. Em seus estudos, chegaram ainda à conclusão de que esses novos dessecantes pesquisados são apropriados em sistemas adsortivos na qual é operado com calor residual de baixa temperatura ou de baixa qualidade.

CAPÍTULO 2 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA EVAPORATIVO ADSORTIVO

Neste capítulo é descrito os sistemas de resfriamento evaporativo e os sistemas de desumidificação de ar por adsorção, assim como a conjugação de ambos, mostrando seu ciclo psicrométrico e suas características.

O sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo, proposto por CAMARGO (2003), reúne vantagens de ordem econômica, energética e ecológica, tais como:

- Possibilita grande redução no consumo de energia nas indústrias quando é utilizada fonte de calor residual nos processos de reativação;
- É ecologicamente correto, pois não causa nenhum impacto ambiental, já que não utiliza gás à base de CFC e HFC;
- Pode ser usado em diversas regiões mesmo naquelas em que as taxas de umidade relativa do ar sejam altas;
- É de fácil manutenção, instalação e operação;
- Tem melhor qualidade do ar interior, pois retém fungos e bactérias, eliminando a proliferação, problema constante nos sistemas convencionais de condicionamento de ar.

2.1 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

O resfriamento evaporativo é um processo no qual um meio ou produto cede calor ocorrendo a evaporação da água (REVISTA DO FRIO, 2005). O processo de evaporação de qualquer produto é endotérmico, ou seja, é acompanhado de absorção de calor que pode ser forçada ou induzida. A absorção é forçada quando é fornecido calor ao sistema e induzida quando é criado condições para a transferência de calor. A torre de resfriamento é um exemplo na qual se tem absorção de calor por uma pequena parcela de água que é induzida a evaporar, resfriando o conteúdo restante da água por transferência de calor. Podem-se citar outros exemplos de resfriamento evaporativo: em dias quentes uma chuva de verão pode trazer uma sensível diminuição de temperatura; a sensação de frescor quando se passa álcool na pele e há a evaporação rápida do

produto; a sensação de resfriamento quando se lava as mãos e em seguida as abana; quando se sente o ar mais fresco quando se está próximo a uma cachoeira e tantos outros exemplos.

Mas, o objeto desse estudo está mesmo no processo de resfriamento evaporativo induzido pela aspersão da água em uma corrente de ar. Nesse caso, os fluidos de trabalho são o ar e a água e a troca de calor é induzida de modo que o fluxo de ar ceda energia para a água evaporando-a, tornando a corrente de ar mais fria após a passagem pelo resfriador. O ar atmosférico, que é constituído de ar seco e vapor d'água, em uma dada temperatura e pressão tem a capacidade de conter uma quantidade de vapor d'água que determina a porcentagem de umidade relativa. O termo aqui usado "ar seco" é simplesmente para enfatizar o ar somente sem o vapor d'água (WYLEN & SONNTAG, 1976). Quando o ar está saturado, ou seja, a sua capacidade de conter vapor d'água está esgotada, diz-se que a umidade relativa está a 100%. Nesse caso os resfriadores evaporativos não têm eficiência alguma, já que o ar está em sua saturação máxima. Porém, normalmente o ar se encontra não saturado (<100%) e o resfriamento evaporativo será mais eficiente quanto mais seco for o ar, possibilitando a absorção de umidade. Para que se tenha essa absorção é necessário que a água utilizada mude o seu estado de líquido para vapor e para que ocorra esta mudança de fase a água tem que retirar uma quantidade de energia do ar resfriando-o.

No projeto dos resfriadores evaporativos deve ser levado em consideração que a área de contato entre os reagentes está relacionada com a velocidade da reação. Portanto, quanto maior for a área de contato entre o ar e a água, maior será a velocidade de resfriamento. Um outro fator importante a ser analisado é o uso dos resfriadores evaporativos nas diversas regiões de acordo com a temperatura e umidade relativa do ar. Os resfriadores evaporativos se mostram mais eficientes naquelas regiões onde as temperaturas são mais elevadas combinadas com as umidades relativas do ar mais baixas justamente pelo fenômeno explicado acima. Obviamente que a diferença de temperatura entre a água e o ar e a capacidade favorável de absorção da água devida a baixa umidade, justifica essa eficiência quando a necessidade de resfriamento é maior para o conforto humano. O conseqüente aumento de umidade do ar insuflado em sistemas de condicionamento de ar é benéfico para o conforto humano evitando o ressecamento que os sistemas convencionais proporcionam.

A aplicação do sistema de resfriamento evaporativo atinge uma gama de utilização muito maior que os sistemas de condicionado de ar por expansão a gás e a ventilação tradicionais, uma vez que sejam observadas as adequadas condições de temperatura e umidade, a renovação total do ar, filtragem do ar, custos de instalação e operação. Além disso, é necessário atentar-se para a

qualidade da água que via de regra é recomendável que seja potável. Água com altos teores de minerais deve ser evitada, pois os minerais tendem a ser retidos nas mantas ou colméias dos resfriadores já que apenas a água pura evapora-se no processo de resfriamento evaporativo. Uma purga contínua deve ser prevista para evitar o aumento da incrustação. Quando a água está em circulação a proliferação de fungos, algas e bactérias é bastante reduzida pela aeração da água e pela ação do oxigênio como oxidante dos microorganismos. Porém, no caso do sistema estar durante muito tempo parado é necessário que a água do reservatório seja substituída. O Ph da água deverá estar entre 7 a 8 sendo aceitável de 6 a 9.

2.1.1 Tipos de resfriadores evaporativos

Há um tipo de resfriador na qual a água é pulverizada através de uma bomba de pressurização. Nesses sistemas de aspersão são utilizados bicos que borrifam a água em forma de gotículas ou névoas no ambiente através de bombas de média pressão ou por ejetor a ar comprimido. A grande superfície exposta da água em contato com o ar facilita sua rápida absorção pelo ar, tendo sua eficiência de umidificação próxima dos 100%. Porém, para se evitar a saturação e a conseqüente "garoa" são instalados controles por temporizadores ou por umidostatos reduzindo sua eficiência a valores na ordem de 50% (BASENGE, 2005).



Figura 2.1 – Sistema de resfriamento evaporativo com aspersão. Fonte: Climasystem

Outro tipo de resfriador utilizado é a evaporação feita através de superfícies de contato, ou seja, empregando materiais com elevada superfície exposta. A água é aspergida na parte superior de colméias ou mantas descendo por canais típicos que facilita a umidificação de todo o meio. O ar ao ser atravessado transversalmente pela colméia ou manta umedecida absorve a umidade chegando bem próxima da saturação. Fig. 2.2

Nesse sistema a evaporação da água ocorre dentro do equipamento e a água excedente fica em recirculação. Outra vantagem é que nesse processo toda a poeira e sujeiras contidas no ar ficam retidas na colméia ou na manta que é lavada constantemente pela água excedente.

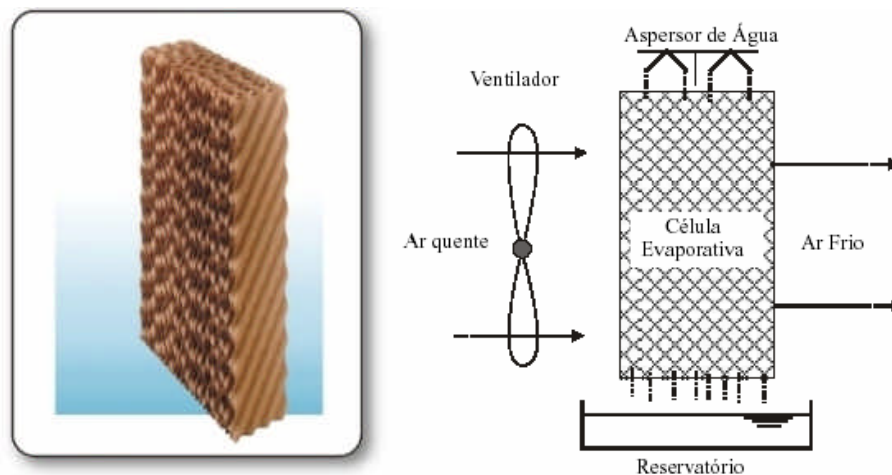


Figura 2.2 – Sistema de resfriamento evaporativo através de colméia

Nos dois casos acima, chama-se de resfriamento evaporativo direto (RED), devido à exposição direta do ar com a água ocorrendo a redução da temperatura de bulbo seco (TBS) e também o aumento da umidade relativa do ar, mantendo constante a entalpia (resfriamento adiabático). Assim a mínima temperatura que se pode atingir é a de bulbo úmido do ar que entra no sistema.

A *efetividade* ou *eficiência de saturação* (e_d) de um resfriador evaporativo direto é definida como a taxa entre a queda real da temperatura de bulbo seco e a máxima queda teórica que a TBS poderia ter se o resfriador fosse 100% eficiente e o ar saísse saturado. Neste caso, TBS na saída seria igual à TBU do ar na entrada (TRANE, 1978). A efetividade é definida como:

$$e_d = \frac{TBS_e - TBS_s}{TBS_e - TBU_e} \quad (2.1)$$

onde os índices **e** e **s** correspondem à entrada e saída, respectivamente.

A Figura 2.3 ilustra o que ocorre com as temperaturas de bulbo seco (TBS), de bulbo úmido (TBU) e de ponto de orvalho (TPO) quando o ar passa através de um resfriador evaporativo direto.

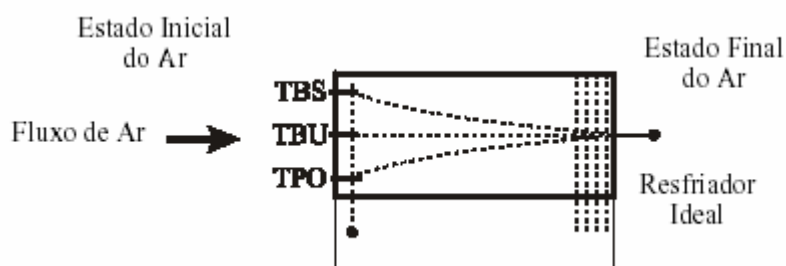


Figura 2.3 – Resfriador evaporativo tipo spray com circulação constante de água (CAMARGO, 2003)

Existe também o resfriamento evaporativo indireto (REI), na qual o ar que resfria o ambiente (ar primário) é mantido sem o contato com a água, que fica separado do lado molhado, onde a água está sendo evaporada. No resfriador evaporativo indireto (REI), o ar que é utilizado para condicionar o ambiente transfere calor ou para uma corrente de ar secundária ou para um líquido, que foram resfriados evaporativamente. A entalpia do ar do lado seco é reduzida em contraste à redução adiabática de temperatura de um resfriador evaporativo direto na qual permanece constante. A figura 2.4 mostra dois tipos de sistemas de resfriamento evaporativo indireto: tipo placa (Figura 2.4 a) e tipo tubo (Figura 2.4 b).

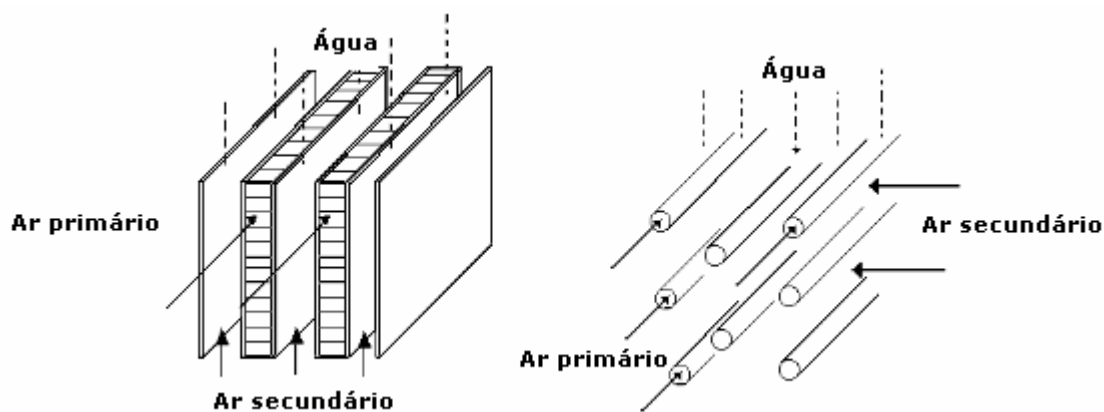


Figura 2.4 – Resfriador evaporativo indireto: (a) tipo placa, (b) tipo tubo (CAMARGO, 2003)

A efetividade de um resfriador indireto (e_i) é função das temperaturas do ar primário na entrada e saída e da temperatura da água (que é, teoricamente, a temperatura de saturação do ar secundário) e é apresentada por CAMARGO & EBINUMA (2002a) como sendo:

$$e_i = \frac{TBS_{pe} - TBS_{ps}}{TBS_{pe} - T_w} \quad (2.2)$$

onde e_i é a efetividade da unidade indireta (ASHRAE, 1995) e os índices p_e , p_s e w correspondem, respectivamente, à entrada do ar primário, à saída do ar primário e à temperatura da água.

2.2 DESUMIDIFICAÇÃO POR ADSORÇÃO

Adsorção é o termo usado para descrever o fenômeno no qual moléculas de um fluido concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida. O sólido sobre o qual ocorre a adsorção denomina-se *adsorvente*, a espécie química retida pelo adsorvente denomina-se *adsorvato* e o fluido em contato com a superfície denomina-se *adsortivo*. Os adsorventes ou dessecantes mais utilizados são: dióxido de silício (SiO_2 – sílica gel), cloreto de lítio (CLi) e alumina ativada (Al_2O_3). Essas substâncias são depositadas em um substrato de fibra de vidro, celulose ou alumínio. A energia calorífica para a reativação pode ser obtida por eletricidade (resistores elétricos), vapor d'água, ar quente ou outra fonte de calor.

2.2.1 Tipos de desumidificadores

Existem várias configurações de desumidificadores dessecantes, mas os tipos mais utilizados são: o tipo torre e o tipo cilindro rotativo.

A Figura 2.5 mostra um desumidificador dessecante tipo torre. Nesta configuração, um dessecante sólido, tal como sílica gel, é depositado em uma torre vertical. O ar de processo passa através da torre transferindo sua umidade para o dessecante seco. Após o dessecante ter se saturado de umidade o ar de processo é desviado para uma segunda torre de secagem e a primeira torre é aquecida e purgada de sua umidade através de uma corrente de ar de reativação. Como a desumidificação e a reativação tem lugar em compartimentos selados separados a torre de desumidificação é frequentemente usada para gases de processo pressurizados. Esse sistema permite atingir temperaturas de ponto de orvalho muito baixas (TORREY & WESTERMAN, 2002).

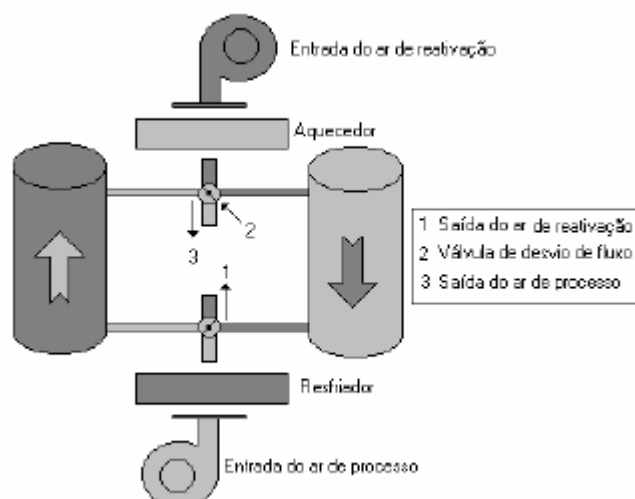


Figura 2.5 Desumidificador tipo torre (CAMARGO, 2003)

A Figura 2.6 mostra o esquema de um desumidificador tipo cilindro rotativo, também conhecido como tipo “*honeycomb*” (HARRIMAN, 1990).

Nesta configuração utiliza-se um cilindro rotativo impregnado com o material dessecante. O fluxo de ar externo passa através de uma parte do cilindro, sendo desumidificado, enquanto o fluxo de ar de reativação, aquecido, circula em contracorrente, removendo a umidade.

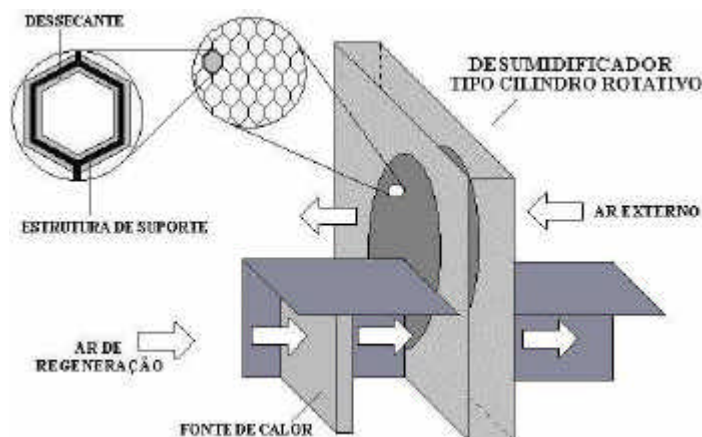


Figura 2.6 Desumidificador tipo cilindro rotativo (CAMARGO, 2003)

2.2.2 Sistema evaporativo com pré-desumidificação

A tecnologia de sistemas de resfriamento evaporativo, acoplados a desumidificadores por adsorção tem emergido recentemente como uma alternativa ou como um complemento aos sistemas convencionais de refrigeração por compressão de vapor. Um sistema típico combina o sistema de desumidificação, que utiliza um cilindro rotativo impregnado de material dessecante, com resfriadores evaporativos diretos e indiretos, permitindo o fornecimento de ar filtrado e resfriado em

condições de temperatura, umidade e velocidade que propiciam conforto térmico ambiental, mesmo em regiões de clima equatorial e tropical como o Brasil.

A Figura 2.7 ilustra tal sistema. Esses sistemas levam a uma grande economia de energia, principalmente onde existem fontes de energia térmica facilmente disponíveis, onde o preço da eletricidade é alto, onde a carga de calor latente é alta ou onde a temperatura de ponto de orvalho requerida é baixa (CAMARGO; EBINUMA, 2002b).

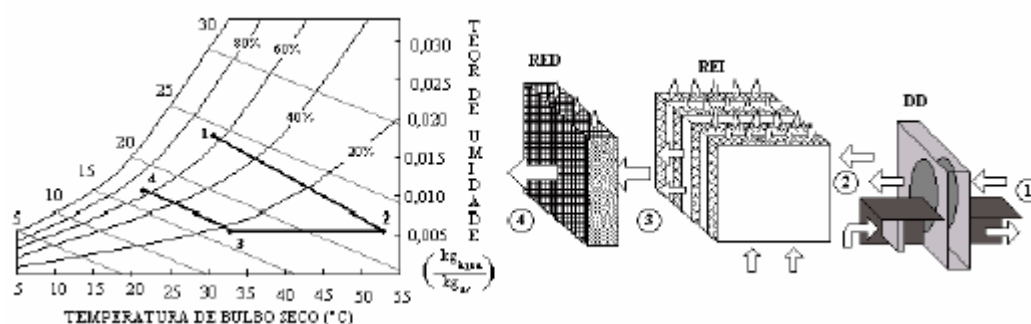


Figura 2.7 – Resfriamento evaporativo com pré-desumidificação por adsorção (CAMARGO, 2003)

Em qualquer destas situações, o custo de utilização de um sistema de resfriamento por compressão de vapor pode ser muito alto e um processo dessecante pode oferecer vantagens consideráveis em termos de gastos com energia, custo inicial do equipamento e manutenção. Uma outra vantagem de um sistema dessecante é a capacidade de reter mais que simplesmente vapor de água, podendo remover bactérias e vapores orgânicos da corrente de ar, melhorando, assim, a qualidade do ar interior.

Nos últimos anos vêm se desenvolvendo novas tecnologias relativas ao processo de desumidificação por adsorção, aplicado ao resfriamento em sistemas de condicionamento de ar, tais como apresentados por SHEN & WOREK (1996), BELDING & DELMAS (1997), JALALZADEH-AZAR (2000), JALALZADEH et al (2000), VINEYARD et al (2000), JAIN et al (2000a), JAIN et al (2000b) e ZHENQIAN & MINCHENG (2000).

2.3 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO

Camargo (2003) apresenta uma nova proposta de um sistema evaporativo acoplado a um desumidificador, apresentando perspectivas promissoras para condicionamento de ar para conforto,

mesmo naquelas regiões em que a umidade relativa do ar é alta, principalmente quando se tem calor residual em sistemas de cogeração ou energia solar e insumos com custos mais baixos.

2.3.1 Configuração do sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD)

A Figura 2.8 mostra a configuração do sistema proposto e utilizado neste trabalho, que é composto por um desumidificador dessecante rotativo acoplado a dois resfriadores evaporativos diretos e a um indireto.

Nesta configuração o ar externo ($T_0: 31^\circ\text{C}$) é primeiramente misturado com ar de retorno ($T_1: 28,8^\circ\text{C}$) e passa pelo desumidificador perdendo calor latente (umidade) e ganhando calor sensível ($T_2: 47,3^\circ\text{C}$). Logo após o ar é resfriado primeiramente em uma unidade REI ($T_3: 29,4^\circ\text{C}$) e após em uma unidade RED ($T_4: 19,2^\circ\text{C}$), sendo introduzido no ambiente condicionado em condições de temperatura e umidade satisfatórias ao conforto térmico humano. O ar de reativação do adsorvente é composto também de uma mistura de ar externo ($T_0: 31^\circ\text{C}$) com ar de retorno ($T_5: 28,8^\circ\text{C}$) que primeiramente é resfriado em um RED ($T_6: 22,5^\circ\text{C}$) e depois em um REI ($T_7: 40,5^\circ\text{C}$). Em seguida recebe calor de uma fonte que pode ser elétrica, vapor ou queima direta de um combustível (normalmente gás natural ou biogás) ou calor residual do condensado de vapor proveniente de um processo industrial ($T_8: 71,1^\circ\text{C}$) para, em seguida passar pelo desumidificador, retirando a umidade do material adsorvente.

O sistema de resfriamento evaporativo, tanto direto (RED) como indireto (REI), utiliza a evaporação de água para resfriar uma corrente de ar. Assim, nesse sistema, os fluidos de trabalho são o ar e a água, que nesse trabalho será estudada a utilização da água proveniente da rede pública e proveniente de uma cisterna onde se armazena a água de chuva. O emprego de dessecantes nesse sistema proposto é imprescindível para que o sistema de resfriamento evaporativo seja eficiente em regiões de alto índice pluviométrico e alta umidade relativa do ar, justificando assim o estudo para aproveitamento da água de chuva.

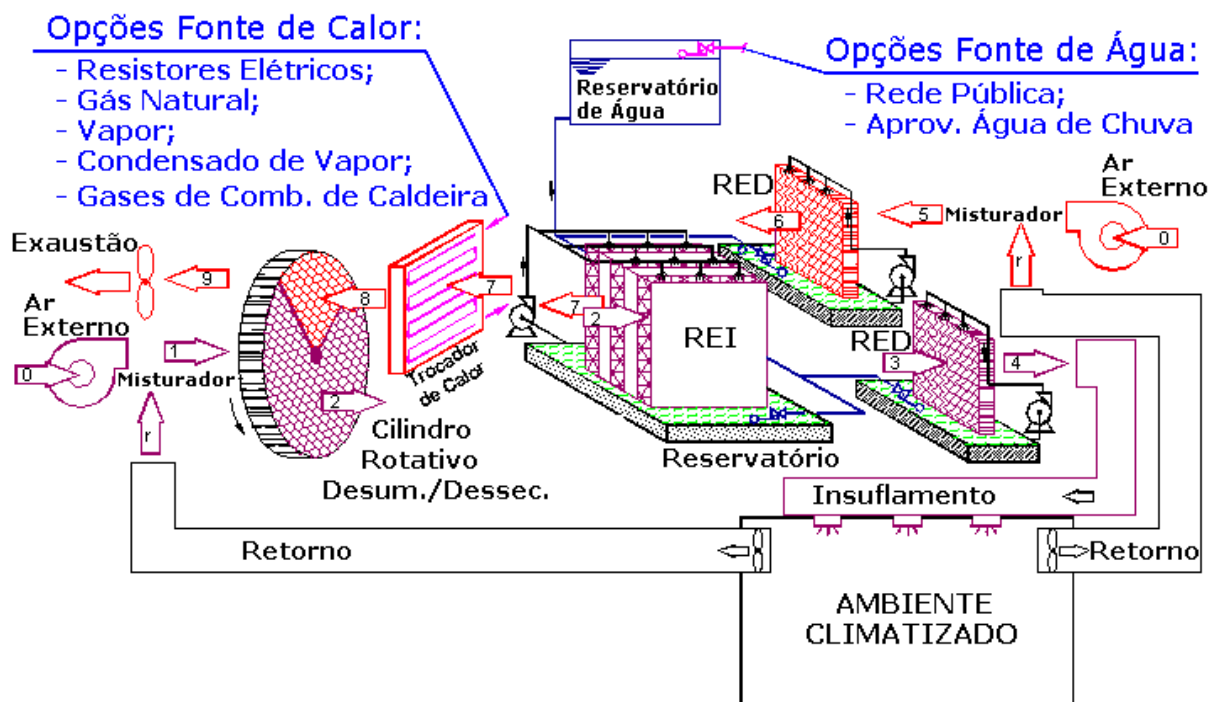


Figura 2.8 – Sistema de resfriamento evaporativo acoplado a um desumidificador

2.3.2 Ciclo psicrométrico

A Figura 2.9 mostra os processos psicrométricos que ocorrem para o ar de processo de acordo com os pontos mostrados na Figura 3.3. O ponto 0 representa a condição externa de projeto para cada cidade, o ponto r representa a condição do ar de retorno, o ponto 1 corresponde à mistura de ar externo com ar de retorno, o ponto 2 é a saída do desumidificador, o ponto 3 é a saída do REI e o ponto 4 é a saída do RED e é a condição do ar a ser insuflado no ambiente a ser condicionado.

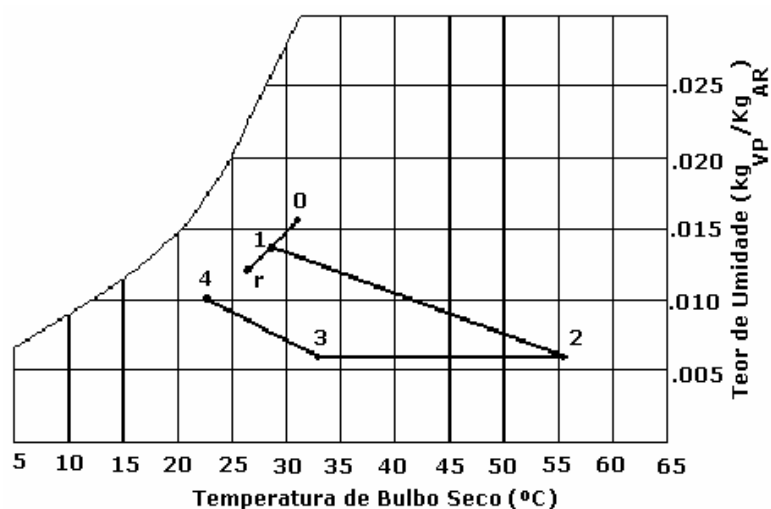


Figura 2.9 – Processos psicrométricos para o sistema proposto por Camargo (2003)

CAPITULO 3 ANÁLISE DOS INSUMOS CONSUMIDOS NO SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO

Nesse capítulo analisa-se o emprego dos diversos insumos para fonte de calor no processo de reativação, como a energia elétrica, gás natural, vapor, condensado de vapor e gases de combustão de caldeira. Também será feita uma análise para o aproveitamento da água de chuva nos resfriadores evaporativos.

3.1 DADOS E CONSIDERAÇÕES DO PROJETO EM ANÁLISE

O presente estudo baseia-se na análise de um dos casos estudados por CAMARGO (2003), onde o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo proposto é aplicado ao condicionamento de ar em um ambiente com carga térmica de 10 TR, área de 200 m² e que requer uma vazão de ar de 1,67 m³/s, mantendo-se a temperatura do ambiente dentro dos valores recomendados pela NBR-6401 da ABNT. Os parâmetros que variam nesse sistema são a relação ar de reativação por ar de processo R/P = 0,847 (mínima) e a temperatura de reativação $T_{reat} = 71,1$ °C. O tempo de operação do sistema será considerado como 240 h/mês. Vazão total de água para os sistemas de resfriamento evaporativo igual a 13,72 l/h no fluxo de ar de processo e no fluxo de ar de reativação igual a 28,52 l/h. A área de captação de chuva disponível é de 250 m² sobre telhado metálico e a potência de aquecimento para reativação do adsorvente é 58,0 kW. A pressão do condensado de vapor disponível após a troca de calor no processo industrial é de 180 kPa e para o vapor a pressão disponível no aquecimento do ar de reativação é de 600 kPa. Os custos levantados para as instalações pressupõem a disponibilidade dos insumos próximos fisicamente da planta.

3.2 ANÁLISE DOS INSUMOS CONSUMIDOS NO PROCESSO DE REATIVAÇÃO

A Munters do Brasil oferece equipamentos utilizando 03 tipos diferentes de insumos, para aquecimento do ar de reativação para o mesmo modelo conforme catálogo comercial M162011 Rev. 2. O HCD-4500 EA utiliza energia elétrica (resistores), o HCD-4500 GA utiliza o gás natural e o HCD-4500 SA utilizando vapor, sendo os dois últimos insumos usados através de trocador de calor ou radiadores. Nesse estudo acrescenta-se ainda o uso de condensado de vapor e gases de combustão de caldeira para o aquecimento, tendo considerado uma adaptação no trocador de calor do equipamento HC-4500 SA pela “Munters”, para utilização desses insumos. O dólar adotado

nesse artigo foi tomado como referência o câmbio do dia 21/01/2005 sendo R\$2,688 e o período de funcionamento do sistema é de 240 horas mensais. A figura 3.1 mostra esquematicamente o aquecimento mínimo que o ar de reativação deverá sofrer, ou seja, de 40,5 °C (T7) para 71,1 °C (T8). A potência que deverá ser empregada para esse aquecimento será calculada pela equação 3.1, como segue:

$$P_{REQ} = \dot{V}_{AR} \times r_{AR} \times CP_{AR} \times \Delta T \quad (3.1)$$

$$P_{REQ} = 1,67 \times 1,129 \times 1,007 \times 30,56$$

$$\text{Portanto, } P_{REQ} = 58 \frac{kJ}{s} = 58 kW$$

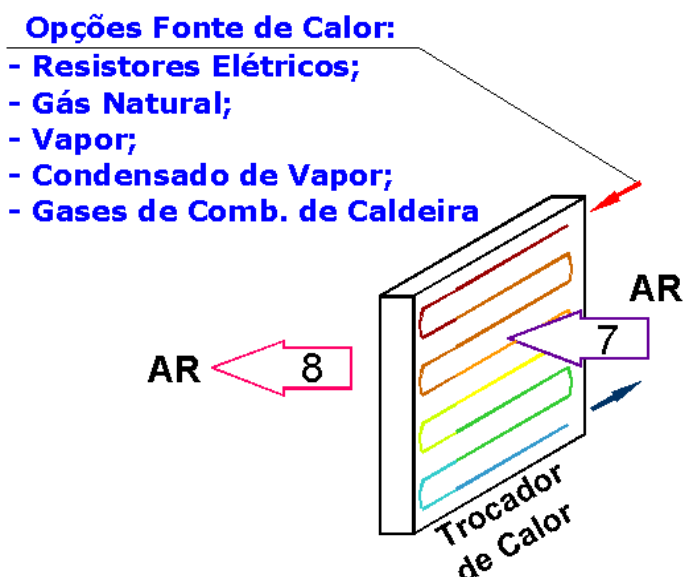


Figura 3.1 – Esquema de aquecimento do ar de Reativação

3.2.1 Energia Elétrica:

CAMARGO (2003) considerou em seu estudo o modelo do dessecante HCD-4500 EA, na qual utiliza a energia elétrica através de resistores para o aquecimento do ar de reativação que necessita de 58 kW, tendo como eficiência da troca 95%.

A potência instalada necessária para a troca será:

$$P_{INST} = \frac{P_{REQ}}{h} = \frac{58,00}{0,95} = 61,05 kW$$

O custo da energia elétrica comprada da concessionária é de **US\$0,075/kWh** (Bandeirante Energia S. A.)

Custo do Insumo Consumido na fonte de calor: CI_{FC}

$$CI_{FC} = P_{INST} \times H \times C_{EE} = 61,05 \times 240 \times 0,075 = \frac{US\$1.098,90}{mês}$$

O custo da instalação elétrica dos resistores (cabos, disjuntores, mão de obra) será incluído no custo total da instalação do sistema de resfriamento e será tratado no capítulo IV.

3.2.2 Gás Natural:

Nesse caso adotou-se o modelo do dessecante como HCD-4500 GA, na qual utiliza gás natural através de um trocador de calor indireto para o aquecimento do ar de reativação (potência necessária de 58 kW), tendo como eficiência da troca estimada em 85%:

A potência instalada necessária para a troca será de:

$$P_{INST} = \frac{P_{REQ}}{h} = \frac{58}{0,85} = 68,24 \frac{kJ}{s}$$

Custo do gás natural: C_{GN}

Segundo a tabela de tarifas da Comgás (Companhia de Gás de São Paulo - jan/2005), classifica-se este consumo através da classe 5 (1.000,01 a 5.000,00 m³) sendo que para o segmento industrial no Vale do Paraíba o preço do gás é R\$1,389862/m³.

Dados:

Poder Calorífico Inferior do Gás: $PC_{GN}=36.454$ [kJ/Nm³]

Gás natural consumido: GN_C

$$GN_C = \frac{P_{INST} \times H}{PC_{GN}} = \frac{68,24 \times 240 \times 3600}{36.454} = 1617,36 \frac{m^3}{mês}$$

Custo do Insumo Consumido na fonte de calor: CI_{FC}

$$CI_{FC} = \frac{GN_C \times C_{GN}}{C_{DÓLAR}} = \frac{1617,36 \times 1,596893}{2,688} = \frac{US\$960,84}{mês}$$

Deve-se considerar um investimento de instalação para o gás (válvulas, reguladores e tubulações), que por pesquisa de mercado de equipamentos comerciais, chega-se em torno de US\$750,00(II_{FC}),

3.2.3 Vapor:

Para o vapor, o modelo equivalente do dessecante é o HCD-4500 SA, na qual utiliza o vapor através de um trocador de calor indireto para o aquecimento do ar de reativação, tendo como eficiência da troca estimada em 85%:

A potência instalada necessária para a troca será:

$$P_{INST} = \frac{P_{REQ}}{h} = \frac{58}{0,85} = 68,24 \frac{kJ}{s}$$

Custo do vapor: C_{VP}

Dados:

$$P_{VP} = 600 \text{ [kPa];}$$

$$h_L = 692,87 \text{ [kJ/kg];}$$

$$h_V = 2.759,35 \text{ [kJ/kg];}$$

Custo do óleo combustível: $C_{ÓLEO} = US\$0,2745/\text{kg}_{OC}$;

Poder calorífico inferior do óleo combustível: $PC_{ÓLEO} = 40.584,8 \text{ [kJ/kg];}$

Eficiência da Caldeira: $h = 80\%$

Taxa de consumo de óleo combustível na caldeira (TC):

$$\text{Entalpia de evaporação: } h_{LV} = h_V - h_L = 2.759,35 - 692,87 = 2.066,48 \frac{kJ}{Kg}$$

$$TC = \frac{PC_{ÓLEO}}{h_{LV}} = \frac{40.584,8}{2.066,48} \times 0,80 = 15,71 \frac{kg_{VAPOR}}{Kg_{OC}}$$

Vapor consumido:

$$VP_C = \frac{P_{INST}}{h_{LV}} \times H = \frac{68,24}{2.066,48} \times 240 \times 3600 = 28.531,3 \frac{kg}{mês}$$

Custo do Insumo Consumido: CI_{FC}

$$C_{VP} = \frac{C_{ÓLEO}}{TC} = \frac{0,2745}{15,71} = \frac{US\$0,017}{kg_{VAPOR}}$$

$$CI_{FC} = VP_C \times C_{VP} = 28.531,3 \times 0,017 = \frac{US\$485,03}{mês}$$

Para a instalação do vapor (purgadores, válvulas, tubulações e isolamento), levou-se em conta um custo de pesquisa de mercado de equipamentos comerciais e chegou-se a US\$1.200,00(II_{FC}).

3.2.4 Condensado de Vapor:

Para o uso de condensado de vapor no aquecimento do ar de reativação, os modelos disponíveis para o dessecante deverão ter o trocador de calor adaptado pelo fabricante. A eficiência de troca é estimada em 80%.

A potência necessária para a troca será:

$$P_{INST} = \frac{P_{REQ}}{h} = \frac{58}{0,80} = 72,5 \frac{kJ}{s}$$

Custo do condensado de vapor:

Dados:

$$P_{CV} = 180 \text{ [kPa];}$$

$$h_e = 551,39 \text{ [kJ/kg];}$$

$$\dot{m}_{CV} = 1.250 \text{ kg/h (p/ tubulação } \varnothing 32 \text{ mm)}$$

Para trocador de calor, o balanço energético é dado pela equação:

$$P_{INST} = \dot{m}_{CV} (h_e - h_s)$$

(3.2)

Portanto,

$$72,5 \times 3600 = 1.250 \times (551,39 - h_s)$$

$$h_s = 342,59 \frac{kJ}{kg}$$

Caso não se queira retornar esse condensado e descartá-lo, deve-se levar em consideração que será necessário repor esse volume na caldeira por água à 20°C que deverá consumir uma quantidade de energia para elevar a temperatura de 20 a 75°C que é a temperatura final da troca de calor. Portanto, o custo do volume da água e o custo de óleo combustível deverão ser computados no caso de descarte.

Nesse estudo será levada em conta a captação de condensado e recalque para o tanque de alimentação da caldeira através de uma bomba de 1,0 CV (0,735 kW), com vazão de 8,0 m³/h.

Utilização da bomba: UB_{CV}

$$UB_{CV} = \frac{\dot{m}_{CV} \times v_{CV} \times H}{\dot{V}_{b_{CV}}} = \frac{1.250 \times 0,001026 \times 240}{8} = 38,48 \frac{h}{mês}$$

O custo do insumo consumido nesse caso deve ser constituído pelo custo de energia elétrica aplicada no recalque do condensado utilizado no SISREAD até o tanque de alimentação da caldeira e pelo custo energético necessário para elevar a temperatura do condensado até os 98°C que é a temperatura adequada para o bombeamento do condensado.

Custo de energia elétrica na bomba de condensado de vapor: C_{EBCV}

$$C_{EBCV} = PB_{CV} \times UB_{CV} \times C_{EE} = 0,735 \times 38,48 \times 0,075 = US\$2,12/mês$$

Potência consumida na recuperação do condensado de vapor (de 75 a 98°C): E_{CV}

$$P_{CV} = \dot{m}_{CV} \times CP_{AG} \times \Delta T$$

$$P_{CV} = 1.250 \times 4,184 \times (371 - 348)$$

$$P_{CV} = 120.290 \frac{kJ}{h}$$

Óleo combustível consumido para recuperação do condensado de vapor: OC_C

$$OC_C = \frac{P_{CV} \times H}{PC_{ÓLEO}} = \frac{120.290 \times 240}{40584,5}$$

$$OC_C = 711,36 \frac{kg_{OC}}{mês}$$

Custo do óleo combustível para recuperação do condensado de vapor: C_{OCV}

$$C_{OCV} = OC_C \times C_{ÓLEO}$$

$$C_{OCV} = 711,36 \times 0,2745 = \frac{US\$195,27}{mês}$$

Custo total do insumo para fonte de calor: CI_{FC}

$$CI_{FC} = C_{EBCV} + C_{OCV}$$

$$CI_{FC} = 2,12 + 195,27 = \frac{US\$197,39}{mês}$$

Para a instalação do condensado de vapor (válvulas, tubulações, reservatório, bomba e isolamento), levou-se em conta um custo de pesquisa de mercado de equipamentos comerciais e chegou-se a US\$2.300,00(II_{FC}).

3.2.5 Gases de Combustão da Caldeira:

Para o uso dos gases de combustão da caldeira no aquecimento do ar de reativação, os modelos disponíveis para o dessecante deverão ter o trocador de calor adaptado pelo fabricante. A eficiência de troca é estimada em 80%.

A potência instalada necessária para a troca será:

$$P_{INST} = \frac{P_{REQ}}{h} = \frac{58}{0,80} = 72,50 \frac{kJ}{s}$$

A vantagem do uso dos gases de combustão devido à queima do óleo combustível é que esse insumo é um calor residual de processo, portanto há um reaproveitamento energético do sistema, tornando o seu emprego mais barato. Esses gases são emitidos na atmosfera com uma temperatura de 300 °C, tendo uma mistura dos gases CO₂, N₂, O₂ e SO₂ e outros menos frequentes. Foi estudado nesse caso um sistema de geração de vapor através de uma caldeira, ATA MP810, com capacidade de 6000 T/h. Os gases são expelidos através de um ventilador com capacidade de 110 m³/min com pressão estática de 652 mmca e 2290 rpm (dados de placa). Cabe aqui estudar a possibilidade de fazer uso dos gases sem a necessidade de instalação de um outro ventilador exclusivo para o SISREAD. Para isso deve-se calcular a vazão dos gases que deverá ser utilizada no trocador de calor para o ar de processo.

É importante observar que a temperatura final dos gases após o trocador de calor não poderá estar abaixo dos 200 °C devido à presença de SO₂, que apesar de uma pequena porcentagem (cerca de 0,29%) pode durante o processo de combustão originar anidridos sulfuroso e sulfúrico. Estes, por sua vez, em contato com o próprio vapor d'água presente na fumaça, são transformados em H₂SO₃ (ácido sulfuroso) ou H₂SO₄ (ácido sulfúrico) os quais podem ocasionar corrosões ao longo do duto (DUARTE, 2005).

Custo dos gases de combustão:

Dados:

$$CP_{GC} = 0,86295 \text{ kJ/kg K};$$

$$T_e = 300 \text{ °C};$$

$$T_s = 200 \text{ °C (mínima)};$$

$$v_{GC} = 0,85 \text{ m}^3/\text{kg};$$

Cálculo da vazão do fluido necessário:

$$P_{INST} = \dot{m}_{GC} \times CP_{GC} \times \Delta T \quad (3.2)$$

Portanto,

$$72,5 = \dot{m}_{GC} \times 0,86295 \times (300 - 200)$$

$$\dot{m}_{GC} = 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V}_{GC} = \dot{m}_{GC} \times v_{GC} = 0,84 \times 0,85 = 0,714 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Cálculo do diâmetro do duto:

$$A_{GC} = \frac{\dot{V}_{GC}}{V_{GC}} = \frac{0,714}{5,0} = 0,1428 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{0,1428 \times 4}{\rho}} = 0,426 \text{ m}$$

Tem-se, portanto o diâmetro do duto igual a 430 mm. A perda de carga equivalente aos 30 m de dutos, as peças especiais, a chaminé e mais o trocador de calor é de aproximadamente 155 Pa (MACINTYRE, 1990). Como se está desviando uma parte dos gases da chaminé existente e a

perda de carga é bem inferior à capacidade do ventilador, chega-se a conclusão que o desvio poderá ser feito com o mesmo ventilador sem ter a necessidade de investimento de um outro exclusivo para o aquecimento do ar de reativação.

Portanto, não haverá custos adicionais com energia elétrica, custos operacionais e de manutenção. Nesse caso serão computados apenas os custos com o duto, trocador de calor, chaminé e isolamento térmico que, por pesquisa de mercado de equipamentos comerciais e serviços, chega-se a: US\$3.500,00 (II_{GC}).

3.3 ANÁLISE DA ÁGUA CONSUMIDA NO PROCESSO DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

Conforme visto no item 3.1, o consumo de água no fluxo de ar de processo é igual a 28,52 l/h e na reativação igual a 13,72 l/h totalizando 42,24 l/h ($\dot{V}_{\text{ÁGUA}}$). Apresenta-se neste momento a análise econômica dos custos relativos ao consumo de água proveniente da rede pública e como opção o aproveitamento da água proveniente da chuva. Cabe aqui estudar-se em um item separado, as ocorrências de chuva na região da Vale do Paraíba, especificamente em Taubaté; e a partir da vazão necessária, dimensionar a cisterna para utilização da água de chuva.

3.3.1 Água da Rede Pública:

O custo da água comprada da concessionária é de US\$0,50/m³ (*Fonte: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP*).

O custo total da água será de:

$$CI_{RE} = \dot{V}_{\text{ÁGUA}} \times H \times C_{\text{ÁGUA}} = 42,24 \times 10^{-3} \times 240 \times 0,50 = \frac{US\$5,07}{\text{mês}}$$

Através de pesquisa de mercado de equipamentos comerciais, chega-se a um custo de US\$180,00(II_{RE}) para instalação de medidor, tubulações e válvulas.

3.3.2 Aproveitamento da água de Chuva:

A composição do custo mensal do consumo da água de aproveitamento de chuva para os resfriadores evaporativos, será apenas o consumo de energia elétrica utilizada para o bombeamento

entre a cisterna e o reservatório, já que esse insumo provém de uma fonte gratuita. Tomou-se como base uma bomba com vazão de 25 l/min, altura manométrica 20 m.c.a, monofásica e de 0,50 HP (0,373 W).

A utilização da bomba será:

$$UB_{AP} = \frac{\dot{V}_{\text{água}} \times H}{\dot{V}_{b_{AP}}} = \frac{42,24 \times 240}{25 \times 60} = 6,76 \frac{h}{mês}$$

O custo total da energia elétrica para o sistema de aproveitamento da água de chuva será:

$$CI_{RE} = PB_{AP} \times UB_{AP} \times C_{EE} = 0,36775 \times 6,76 \times 0,075 = \frac{US\$0,19}{mês}$$

3.3.3 Dimensionamento da cisterna para aproveitamento da água de chuva:

Foi pesquisado o índice pluviométrico na região de Taubaté através de registros feitos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e para o dimensionamento do reservatório (cisterna) que atenderá o consumo de água pelos resfriadores evaporativos foi utilizado o método de RIPPL.

3.3.3.1 Precipitações de chuva:

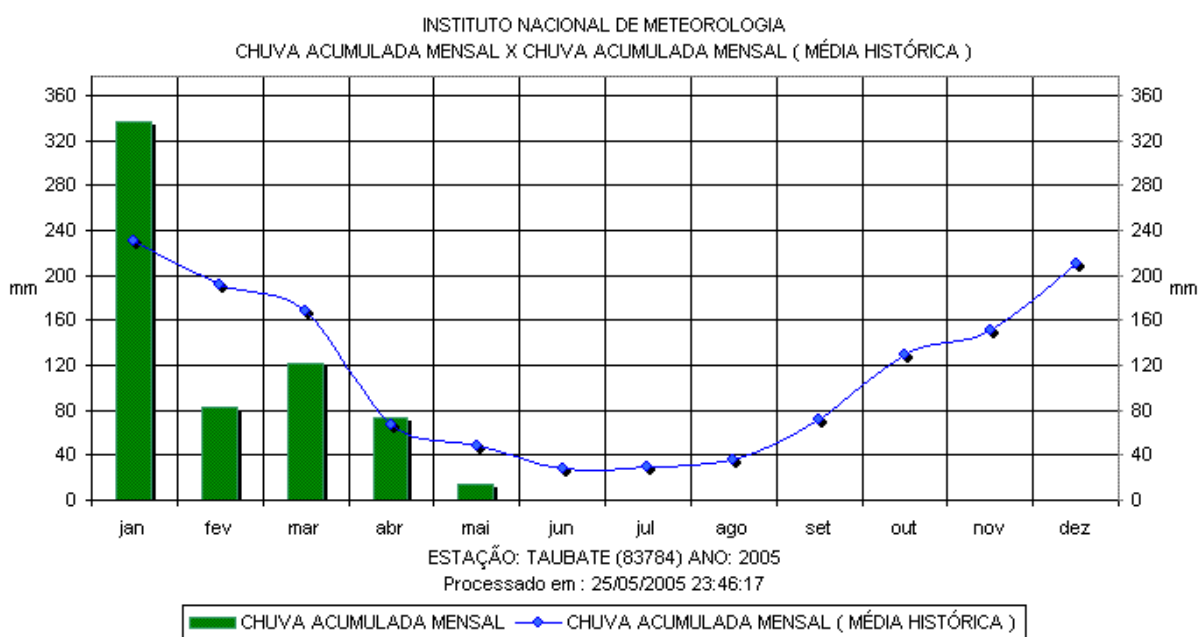


Figura 3.2 – Índice Pluviométrico. Fonte: Inmetro <http://www.inmet.gov.br/>

Tabela 3.1 – Precipitações de chuvas em mm

Precipitações em mm												
Meses	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
	230	195	170	65	50	30	30	35	75	125	150	210

3.3.3.2 Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl:

De acordo com TOMAZ (2003), o dimensionamento do reservatório se dará pela demanda mensal que já se sabe que será de 10,14 m³, área de captação de chuva sobre telhado metálico em torno de 250 m², coeficiente de runoff C=0,80, e tem-se pela tabela abaixo o volume de 12 m³.

Tabela 3.2 – Dimensionamento do Reservatório de água

Dimensionamento do Reservatório - Método de RIPPL:							
Meses	Chuva Média Mensal	Área de Captação	Volume de Chuva Mensal	Demanda Constante Mensal	Diferença entre os volumes da demanda e vol. de Chuva	Diferença Acumulada dos valores positivos	obs
	mm				m ²		
janeiro	230	250	46,00	10,14	-35,86		E
fevereiro	195	250	39,00	10,14	-28,86		E
março	165	250	34,00	10,14	-23,86		E
abril	65	250	13,00	10,14	-2,86		E
maio	50	250	10,00	10,14	0,14	0,14	D
junho	25	250	6,00	10,14	4,14	4,28	D
julho	30	250	6,00	10,14	4,14	8,42	D
agosto	40	250	7,00	10,14	3,14	11,56	D
setembro	75	250	15,00	10,14	-4,86	6,7	S
outubro	125	250	25,00	10,14	-14,86	-8,16	E
novembro	150	250	30,00	10,14	-19,86	-28,02	E
dezembro	210	250	42,00	10,14	-31,86	-59,88	E
Total	1360		273,00	121,68			

OBS: E: água escoando pelo extravasor; D: nível de água baixado; S: nível de água subindo.

3.3.3.3 Dispositivos usados em reservatórios de armazenamento de chuva:

A 3P Technic Sistemas para Aproveitamento da Água de Chuvas é fabricante de diversos dispositivos usados em reservatório de armazenagem de chuvas, conforme figuras 3.3 e 3.4:



Fig. 3.3 - Filtro Volumétrico e filtro para descida do tubo vertical (Fonte: 3P Technic)



Fig. 3.4 - Freio d'água, conjunto flutuante de sucção e sifão-ladrão (Fonte: 3P Technic)

3.3.3.4 Dimensionamento do reservatório de auto-limpeza:

Conforme TOMAZ (2003) utiliza-se como regra prática $1,00 \text{ l/m}^2$, portanto se tem-se uma área de captação de 250 m^2 , então deve-se considerar um reservatório de 250 l .

Como se trata de água para uso em ar condicionado para conforto humano, foi considerado nesse trabalho um tratamento com uma filtragem adequada.

3.3.3.5 Custo total da instalação: CI_{AP}

De acordo com TOMAZ (2003), pode-se tomar como base um custo de US\$137/m³, utilizando-se fibra de vidro enterrado, já sendo considerado o preço e instalação da bomba e apoio civil. Tem-se, portanto para 12 m³: US\$1644,00.

Dispositivos para o reservatório (consulta comercial: IDHEA – Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica): US\$512,00

Reservatório 250 l: US\$120,00

Filtros: US\$200,00

Total da instalação: $CI_{AP} = US\$2476,00$

CAPITULO 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo, faz-se uma análise detalhada dos investimentos de implantação necessários para cada projeto, bem como seus custos mensais de operação e consumo energético. Faz-se uma análise do tempo de amortização dos investimentos comparando os diversos projetos aqui abordados. É feita também uma comparação entre os projetos utilizando-se o aproveitamento da água de chuva nos resfriadores evaporativos e o quanto o custo do mesmo impacta no custo final dos investimentos.

4.1 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR CONVENCIONAL

Adota-se aqui um sistema de ar condicionado dimensionado para climatizar um ambiente de 200 m², com carga térmica de 10 TR, vazão de 1,67 m³/h, 2880 horas de funcionamento anual conforme mencionado anteriormente. Foi escolhido um aparelho do tipo “*self contained*”, marca “*Springer Carrier*”, modelo “*New Generation*” 40BX (condensador a ar incorporado), com capacidade de 10,8 TR, vazão nominal de 6800 m³/h, 220 V trifásico, consumo 14,5 kW, expansão à gás, refrigerante R22. Para fins comparativos chamou-se esse sistema de **CASO I**.

Tabela 4.1 Características técnicas do “*self contained*”. Fonte: “*Springer Carrier*”

		40 BX (condensador a ar incorporado)				
Modelos		006	008	012	014	016
Capacidade Nominal*	(kcal/h)	16171	22624	32626	38984	45244
	(TR)	5,3	7,5	10,8	12,9	15
Evaporador	Vazão de ar nominal (m ³ /h)	3400	5100	6800	8500	10200
	Pressão Estática Disponível (mm.c.a.)**VS/VH	20/40	28/44	22/49	23/44	23/41
	Motor - Potência de Placa (CV)	1,0/1,5	1,5/2,0	2,0/3,0	3	3,0/4,0
Peso em operação (kg)		260	300	440	490	520
Peso do Plenum (kg)		18	20	27	30	33
Condensador	Vazão de ar nominal (m ³ /h)	5100	7650	10200	11500	12750
	Pressão Estática Disponível (mm.c.a.)**VS/VH	10	10	10	10	10
	Motor - Potência de Placa (CV)	1,5	3	3	3	4
Consumo Nominal (kw)		7,5	10,1	14,5	16,4	19,5/21,0
Dimensões (A x L x P) (cm)		197x104x64	197x123x64	200x142x76	200x161x76	200x180x21,0
Características Elétricas		220/380/440 V (Trifásico) 60 Hz				

4.1.1 Composição de custos

Foram levantados os custos do equipamento, da instalação frigorígena, da instalação de dutos, da instalação elétrica e os custos envolvidos com manutenção, operação e consumo energético do sistema.

➤ Investimento total de implantação do projeto (IPL): US\$13.550,00

• Investimento total das instalações de insumos (ITI): **US\$2.350,00**

- Instalação elétrica, que inclui cabos, disjuntores, painéis, considerando uma potência elétrica instalada de 14,50 kW conforme fabricante e mão de obra especializada: **US\$750,00;**
- Instalação frigorígena, que inclui tubos de cobre, isolamento térmico das tubulações, recarga de gás R-22 (caso necessário), testes no equipamento e mão de obra especializada: **US\$1.600,00;**

• Investimento total de equipamentos (ITE): **US\$11.200,00**

- Fabricação e montagem de dutos, que inclui dutos de insuflamento e retorno, isolamentos, difusores, grelhas de retorno, mão de obra especializada: **US\$4.500,00;**
- “*Self Contained*”, marca “*Spring Carrier*”, modelo “*New Generation*” 50BX (condensador a ar incorporado), com capacidade de 10,8 TR, vazão nominal de 6800 m³/h, 220 V trifásico, consumo 14,5 kW, expansão à gás, refrigerante R22: **US\$6.700,00;**

➤ Preço do ar resfriado (P_{ARR}): **US\$0,1076/TRh**

Para compor os custos do ar resfriado em US\$/TRh, deve-se agregar todos os custos mensais como as tarifas de cada insumo (CUI) e os custos operacionais que envolvem manutenção e operação (CO).

• Custo de energia elétrica (CI_{EE}):

- Nesse item foi considerada a energia elétrica que o sistema de ar condicionado tipo “*Self Contained*” irá consumir que é cerca de 14,50 kW de potência instalada (P_{ISNT}) com utilização de 240 h/mês e foi considerada uma tarifa de US\$0,075/kWh (Bandeirante Energia S. A.), chegando a um gasto de US\$161,00/mês. É interessante saber quanto é o gasto de cada TRh de ar resfriado nesse sistema, portanto, tem-se o valor de: **US\$0,1007/TRh**. Como nesse sistema só existe a energia elétrica como insumo, o custo de utilização dos insumos (CUI) terá o mesmo valor da energia elétrica consumida;

- Custo operacional do sistema (CO):
 - Foi considerado um custo de US\$18,00/mês com gastos de operação e manutenção do sistema que nesse caso envolve mais partes mecânicas que os sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo, tem-se, portanto o valor de: **US\$0,0069/TRh.**

A Tabela 4.2 mostra o resumo dos preços e custos levantados para o sistema de condicionamento de ar através de um “*Self Contained*” de 10,8 TR.

Tabela 4.2 – Resumo dos Investimentos para um sistema de condicionamento de ar 10,8 TR

Vazão Média de Ar Resfriado	\dot{V}_{ARR}	m^3_{ARR}/h	6.800
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2.880
Invest. Instalação Elétrica	I_{EE}	US\$	750,00
Invest. Instalação Frigorígena	I_{FR}	US\$	1.600,00
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	2.350,00
Dutos, grelhas e difusores (insufl. e retorno)	I_{DT}	US\$	4.500,00
Unidades Condensadoras/Evaporadoras (R-22)	I_{CE}	US\$	6.700,00
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	11.200,00
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	13.550,00
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P_{INST}	KW	14,50
	C_{IEE}	US\$/mês	261,00
		US\$/TRh	0,1007
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,1007
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	18,00
		US\$/TRh	0,0069
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,1076

4.2 SISTEMA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO-ADSORTIVO

Neste tópico serão apresentados os custos detalhados para implantação de projetos de condicionamento de ar através de resfriamento evaporativo-adsortivo utilizando os diversos insumos para reativação do dessecante como fonte de calor. Será abordado também o custo referente à instalação de uma central de aproveitamento de água de chuva para os resfriadores evaporativos. Para todos os sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo estudados, tem-se como características uma vazão de 6000 m³/h de ar resfriado em 240 horas mensais de utilização e carga térmica de 10 TR.

4.2.1 SISREAD com utilização de Energia Elétrica para reativação do dessecante

Chamou-se de **CASO II** o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD) com utilização de energia elétrica como fonte de calor de reativação do dessecante. Segue a composição de custos:

- Investimento total de implantação do projeto (IPL): US\$49.100,30
 - Investimento total das instalações de insumos (ITI): **US\$2.980,00**
 - Instalação elétrica, que inclui cabos, disjuntores, painéis, considerando uma potência elétrica instalada de 77,33 kW e mão de obra especializada: **US\$2.800,00;**
 - Instalação da tubulação de água para os resfriadores evaporativos, que inclui tubos, válvulas, hidrômetro e mão de obra especializada: **US\$180,00;**
 - Investimento total de equipamentos (ITE): **US\$46.120,30**
 - Fabricação e montagem de dutos, que inclui dutos de insuflamento e retorno, isolamentos, difusores, grelhas de retorno, mão de obra especializada: **US\$4.500,00;**
 - Bombas de recirculação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$117,68;**
 - Ventiladores: **US\$ 3.556,50;**
 - Resfriadores evaporativos: **US\$2.000,00;**
 - Módulo dessecante “*Munters*” (HCD-4500 EA): **US\$35.946,12;**
- Preço do ar resfriado (P_{ARR}): **US\$0,4871/TRh**

Para compor os custos do ar resfriado em US\$/TRh, agrega-se todos os custos mensais como as tarifas de cada insumo (CUI) e os custos operacionais que envolvem manutenção e operação (CO).

- Custo dos insumos para a fonte de calor (CI_{FC}):
 - Nesse item foi considerada a energia elétrica que é utilizada nos resistores elétricos para o aquecimento do ar de reativação que já foi discutida no Capítulo III e que chegou-se ao valor de US\$1.391,94/mês. O gasto de cada TRh de ar resfriado nesse caso, tem-se o valor de: **US\$0,4579/TRh**;
- Custo da água para os resfriadores evaporativos - rede pública (CI_{RE}):
 - Nesse item é considerada a utilização da água proveniente da rede pública utilizada no sistema de resfriamento evaporativo. Conforme visto no Capítulo III o custo dos 42,24 l/h necessários no sistema, terá um custo de US\$5,07/mês, implicando, portanto na quantia de **US\$0,0021/TRh**. Esse valor é igual para todos os sistemas nesse estudo que utiliza a água da rede pública em seus resfriadores.
- Custo de energia elétrica (CI_{EE}):
 - A energia elétrica que esse sistema consome para bombas e ventiladores é cerca de 2,94 kW de potência instalada (P_{ISNT}), chegando a um custo de US\$52,92/mês. Esse custo não inclui a energia elétrica gasta como fonte de calor para o ar de reativação que já foi considerada separadamente, tem-se o valor de: **US\$0,0221/TRh**, que será igual aos outros sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo, menos o que utiliza condensado de vapor, já que se tem uma bomba adicional para o retorno de condensado para a caldeira.;
- Custo operacional do sistema (CO):
 - Foi considerado um custo de US\$12,00/mês com gastos de operação e manutenção do sistema que nesse caso envolve menos partes mecânicas que o sistema de condicionamento de ar por expansão à gás. Tem-se, portanto o valor de: **US\$0,0055/TRh**, considerado também para os outros sistemas de resfriamento evaporativo.

A Tabela 4.3 mostra o resumo dos preços e custos levantados para o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo que utiliza energia elétrica para reativação.

Tabela 4.3 – Resumo dos Invest. para um SISREAD com energia elétrica para reativação

Vazão Média de Ar Resfriado	\dot{V}_{ARR}	m^3_{ARR}/h	6.000	
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2.880	
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	I_{RE}	US\$	180,00	
Invest. Instalação Elétrica	I_{EE}	US\$	2.800,00	
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	2.980,00	
Dutos, grelhas e difusores (insufl. e retorno)	I_{DT}	US\$	4.500,00	
Bombas	I_{BB}	US\$	117,68	
Ventiladores	I_{VE}	US\$	3.556,50	
Resfriadores Evaporativos	I_{RE}	US\$	2.000,00	
Módulo Dessecante	I_{MD}	US\$	35.946,12	
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	46.120,30	
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	49.100,30	
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	C_{FC}	US\$/mês	1.098,90	
		US\$/TRh	0,4579	
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	C_{RE}	US\$/mês	5,07	
		US\$/TRh	0,0021	
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P_{INST}	KW	2,94	
		C_{EE}	US\$/mês	52,92
			US\$/TRh	0,0221
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,482	
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	12,00	
		US\$/TRh	0,005	
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,4871	

4.2.2 SISREAD com utilização de gás natural para reativação do dessecante

Chamou-se de **CASO III** o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD) com utilização de gás natural como fonte de calor de reativação do dessecante. Segue a composição de custos:

- Investimento total de implantação do projeto (IPL): US\$47.650,30
 - Investimento total das instalações de insumos (ITI): **US\$1.530,00**
 - Instalação da tubulação de gás natural, que inclui tubos, válvulas, reguladores e mão de obra especializada, conforme visto no Capítulo III: **US\$750,00**;
 - Instalação elétrica (bombas e ventiladores), que inclui cabos, disjuntores, painéis, considerando uma potência elétrica instalada de 2,94 kW e mão de obra especializada: **US\$600,00**;

- Instalação da tubulação de água para os resfriadores evaporativos, que inclui tubos, válvulas, hidrômetro e mão de obra especializada: **US\$180,00;**
 - Investimento total de equipamentos (ITE): **US\$46.120,30**
 - Fabricação e montagem de dutos: **US\$4.500,00;**
 - Bombas de recirculação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$117,68;**
 - Ventiladores: **US\$ 3.556,50;**
 - Resfriadores evaporativos: **US\$2.000,00;**
 - Módulo dessecante “*Munters*” (HCD-4500 GA): **US\$35.946,12;**
- Preço do ar resfriado (P_{ARR}): **US\$0,4295/TRh**
- Para compor os custos do ar resfriado em US\$/TRh, serão agregados todos os custos mensais como as tarifas de cada insumo (CUI) e os custos operacionais que envolvem manutenção e operação (CO).
- Custo dos insumos para a fonte de calor (CI_{FC}):
 - Nesse item é considerado a utilização do gás natural para o aquecimento do ar de reativação que já foi discutida no Capítulo III e que chegou-se ao valor de US\$960,84/mês. O gasto de cada TRh nesse caso, será de: **US\$0,4003/TRh;**
 - Custo da água para os resfriadores evaporativos - rede pública (CI_{RE}):
 - Idem aos outros sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo: **US\$0,0021/TRh** de ar resfriado.
 - Custo de energia elétrica (CI_{EE}):
 - A energia elétrica que esse sistema consome para bombas e ventiladores é cerca de 2,94 kW igual ao SISREAD anterior e que implica em: **US\$0,0221/TRh;**
 - Custo operacional do sistema (CO):
 - O custo foi considerado igual ao SISREAD anterior (US\$12,00/mês): **US\$0,005/TRh.**

A Tabela 4.4 mostra o resumo dos preços e custos levantados para o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo que utiliza gás natural para reativação.

Tabela 4.4 – Resumo dos Invest. para um SISREAD com gás natural para reativação

Vazão Média de Ar Resfriado	\dot{V}_{ARR}	m^3_{ARR}/h	6.000
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2.880
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	I_{FC}	US\$	750,00
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	I_{RE}	US\$	180,00
Invest. Instalação Elétrica	I_{EE}	US\$	600,00
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	1.530,00
Dutos, grelhas e difusores (insufl. e retorno)	I_{DT}	US\$	4.500,00
Bombas	I_{BB}	US\$	117,68
Ventiladores	I_{VE}	US\$	3.556,50
Resfriadores Evaporativos	I_{RE}	US\$	2.000,00
Módulo Dessecante	I_{MD}	US\$	35.946,12
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	46.120,30
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	47.650,30
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	C_{FC}	US\$/mês	960,84
		US\$/TRh	0,4003
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	C_{RE}	US\$/mês	5,07
		US\$/TRh	0,0021
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P_{INST}	KW	2,94
		C_{EE}	US\$/mês
		US\$/TRh	0,0221
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,4245
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	12,00
		US\$/TRh	0,005
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,4295

4.2.3 SISREAD com utilização de vapor para reativação do dessecante

Chamou-se de **CASO IV** o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD) com utilização de vapor como fonte de calor de reativação do dessecante. Segue a composição de custos:

- Investimento total de implantação do projeto (IPL): US\$48.100,30
 - Investimento total das instalações de insumos (ITI): **US\$1.980,00**
 - Instalação da tubulação de vapor, que inclui tubos, válvulas, purgadores, isolamento das linhas e mão de obra especializada, conforme visto no Capítulo III: **US\$1.200,00;**
 - Instalação elétrica (bombas e ventiladores): **US\$600,00;**
 - Instalação da tubulação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$180,00;**
 - Investimento total de equipamentos (ITE): **US\$46.120,30**
 - Fabricação e montagem de dutos: **US\$4.500,00;**
 - Bombas de recirculação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$117,68;**
 - Ventiladores: **US\$ 3.556,50;**
 - Resfriadores evaporativos: **US\$2.000,00;**
 - Módulo dessecante “*Munters*” (HCD-4500 GA): **US\$35.946,12;**
- Preço do ar resfriado (P_{ARR}): **US\$0,2313/TRh**

Para compor os custos do ar resfriado em US\$/TRh, todos os custos mensais como as tarifas de cada insumo (CUI) e os custos operacionais que envolvem manutenção e operação (CO) deverão ser considerados.

 - Custo dos insumos para a fonte de calor (CI_{FC}):
 - Nesse item é considerado a utilização do vapor disponível próximo ao ambiente climatizado, para o aquecimento do ar de reativação que já foi discutida no Capítulo III e que chegou-se ao valor de US\$485,03/mês. O gasto com a energia nesse caso será: **US\$0,2021/TRh;**
 - Custo da água para os resfriadores evaporativos - rede pública (CI_{RE}):
 - Idem aos outros sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo: **US\$0,0021/TRh** de ar resfriado.

- Custo de energia elétrica (CI_{EE}):
 - A energia elétrica que esse sistema consome para bombas e ventiladores é cerca de 2,94 kW igual ao SISREAD anterior e que implica em: **US\$0,0221/TRh**;
- Custo operacional do sistema (CO):
 - O custo foi considerado igual ao SISREAD anterior (US\$12,00/mês), tendo-se, portanto o valor de: **US\$0,005/TRh**.

A Tabela 4.5 mostra o resumo dos preços e custos levantados para o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo que utiliza vapor para reativação.

Tabela 4.5 – Resumo dos Investimentos para um SISREAD com vapor para reativação

Vazão Média de Ar Resfriado	\dot{V}_{ARR}	m^3_{ARR}/h	6.000	
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2.880	
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	I_{FC}	US\$	1.200,00	
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	I_{RE}	US\$	180,00	
Invest. Instalação Elétrica	I_{EE}	US\$	600,00	
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	1.980,00	
Dutos, grelhas e difusores (insufl. e retorno)	I_{DT}	US\$	4.500,00	
Bombas	I_{BB}	US\$	117,68	
Ventiladores	I_{VE}	US\$	3.556,50	
Resfriadores Evaporativos	I_{RE}	US\$	2.000,00	
Módulo Dessecante	I_{MD}	US\$	35.946,12	
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	46.120,30	
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	48.100,30	
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	CI_{FC}	US\$/mês	485,03	
		US\$/TRh	0,2021	
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	CI_{RE}	US\$/mês	5,07	
		US\$/TRh	0,0021	
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P_{INST}	KW	2,94	
		CI_{EE}	US\$/mês	52,92
			US\$/TRh	0,0221
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,2263	
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	12,00	
		US\$/TRh	0,005	
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,2313	

4.2.4 SISREAD com utilização de condensado vapor para reativação do dessecante

Chamou-se de **CASO V** o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD) com utilização de condensado de vapor como fonte de calor de reativação do dessecante. Segue a composição de custos:

- Investimento total de implantação do projeto (IPL): US\$51.077,61
 - Investimento total das instalações de insumos (ITI): **US\$3.160,00**
 - Instalação da tubulação de condensado de vapor, que inclui tubos, válvulas, reservatório, bomba, isolamento das linhas e mão de obra especializada, conforme visto no Capítulo III: **US\$2.300,00;**
 - Instalação elétrica (bombas e ventiladores): **US\$680,00;**
 - Instalação da tubulação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$180,00;**
 - Investimento total de equipamentos (ITE): **US\$47.917,61**
 - Fabricação e montagem de dutos: **US\$4.500,00;**
 - Bombas de recirculação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$117,68;**
 - Ventiladores: **US\$ 3.556,50;**
 - Resfriadores evaporativos: **US\$2.000,00;**
 - Módulo dessecante “*Munters*” (HCD-4500 SA adaptado), considerado o modelo para vapor com 5% de acréscimo para adaptação do trocador de calor: **US\$37.743,43;**
- Preço do ar resfriado (P_{ARR}): **US\$0,1169/TRh**

Para compor os custos do ar resfriado em US\$/TRh, todos os custos mensais como as tarifas de cada insumo (CUI) e os custos operacionais que envolvem manutenção e operação (CO) deverão ser considerados.

 - Custo dos insumos para a fonte de calor (CI_{FC}):
 - Nesse item é considerado a utilização do condensado de vapor, energia residual de um processo industrial disponível próximo ao ambiente que será climatizado, para o aquecimento do ar de reativação que já foi discutida no Capítulo III e que chegou-se ao valor de US\$197,39/mês. O gasto com a energia nesse caso, será: **US\$0,0822/TRh;**

- Custo da água para os resfriadores evaporativos - rede pública (CI_{RE}):
 - Idem aos outros sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo: **US\$0,0021/TRh.**
- Custo de energia elétrica (CI_{EE}):
 - A energia elétrica que esse sistema consome para bombas e ventiladores é cerca de 3,68 kW portanto implica em: **US\$0,0276/TRh;**
- Custo operacional do sistema (CO):
 - O custo foi considerado igual ao SISREAD anterior (US\$12,00/mês), tendo-se, portanto o valor de: **US\$0,005/TRh.**

A Tabela 4.6 mostra o resumo dos preços e custos levantados para o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo que utiliza condensado de vapor para reativação.

Tabela 4.6 – Resumo dos Invest. para SISREAD - condensado de vapor para reativação

Vazão Média de Ar Resfriado	\dot{V}_{ARR}	m^3_{ARR}/h	6.000	
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2.880	
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	I_{FC}	US\$	2.300,00	
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	I_{RE}	US\$	180,00	
Invest. Instalação Elétrica	I_{EE}	US\$	680,00	
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	3.160,00	
Dutos, grelhas e difusores (insufl. e retorno)	I_{DT}	US\$	4.500,00	
Bombas	I_{BB}	US\$	117,68	
Ventiladores	I_{VE}	US\$	3.556,50	
Resfriadores Evaporativos	I_{RE}	US\$	2.000,00	
Módulo Dessecante	I_{MD}	US\$	37.743,43	
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	47.917,61	
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	51.077,61	
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	CI_{FC}	US\$/mês	197,39	
		US\$/TRh	0,0822	
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	CI_{RE}	US\$/mês	5,07	
		US\$/TRh	0,0021	
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P_{INST}	kW	3,68	
		CI_{EE}	US\$/mês	66,24
			US\$/TRh	0,0276
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,1119	
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	12,00	
		US\$/TRh	0,005	
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,1169	

4.2.5 SISREAD com utilização de gases de combustão de caldeira para reativação do dessecante

Chamou-se de **CASO VI** o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo (SISREAD) com utilização de gases de combustão da caldeira como fonte de calor de reativação do dessecante. Segue a composição de custos:

- Investimento total de implantação do projeto (IPL): US\$51.617,61
 - Investimento total das instalações de insumos (ITI): **US\$3.700,00**
 - Instalação de duto, trocador de calor, isolamento e mão de obra especializada, conforme visto no Capítulo III: **US\$2.920,00;**
 - Instalação elétrica (bombas e ventiladores): **US\$600,00;**
 - Instalação da tubulação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$180,00;**
 - Investimento total de equipamentos (ITE): **US\$47.917,61**
 - Fabricação e montagem de dutos: **US\$4.500,00;**
 - Bombas de recirculação de água para os resfriadores evaporativos: **US\$117,68;**
 - Ventiladores: **US\$ 3.556,50;**
 - Resfriadores evaporativos: **US\$2.000,00;**
 - Módulo dessecante “*Munters*” (HCD-4500 SA adaptado), considerado o modelo para vapor com 5% de acréscimo para adaptação do trocador de calor: **US\$37.743,43;**
- Preço do ar resfriado (P_{ARR}): **US\$0,0292/TRh**

Para compor os custos do ar resfriado em US\$/TRh, todos os custos mensais como as tarifas de cada insumo (CUI) e os custos operacionais que envolvem manutenção e operação (CO) deverão ser considerados.

 - Custo dos insumos para a fonte de calor (CI_{FC}):
 - **Não se aplica (ver Capítulo III);**

- Custo da água para os resfriadores evaporativos - rede pública (CI_{RE}):
 - Idem aos outros sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo: **US\$0,0021/TRh.**
- Custo de energia elétrica (CI_{EE}):
 - A energia elétrica que esse sistema consome para bombas e ventiladores é cerca de 2,94 kW portanto implica em: **US\$0,0221/TRh;**
- Custo operacional do sistema (CO):
 - O custo foi considerado igual ao SISREAD anterior (US\$12,00/mês), tendo-se, portanto o valor de: **US\$0,005/TRh.**

A Tabela 4.7 mostra o resumo dos preços e custos levantados para o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo que utiliza gases de combustão de caldeira para reativação.

Tabela 4.7 – Resumo dos Investimentos para SISREAD – gases de combustão para reativação

Vazão Média de Ar Resfriado	\dot{V}_{ARR}	m^3_{ARR}/h	6.000	
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2.880	
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	I_{FC}	US\$	2.920,00	
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	I_{RE}	US\$	180,00	
Invest. Instalação Elétrica	I_{EE}	US\$	600,00	
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	3.700,00	
Dutos, grelhas e difusores (insufl. e retorno)	I_{DT}	US\$	4.500,00	
Bombas	I_{BB}	US\$	117,68	
Ventiladores	I_{VE}	US\$	3.556,50	
Resfriadores Evaporativos	I_{RE}	US\$	2000,00	
Módulo Dessecante	I_{MD}	US\$	37.743,43	
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	47.917,61	
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	51.617,61	
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	CI_{FC}	US\$/mês	NA	
		US\$/TRh	NA	
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	CI_{RE}	US\$/mês	5,07	
		US\$/TRh	0,0021	
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P_{INST}	kW	2,94	
		CI_{EE}	US\$/mês	52,92
			US\$/TRh	0,021
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,024	
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	12,00	
		US\$/TRh	0,005	
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,029	

4.2.6 SISREAD's associados ao custo do aproveitamento da água de chuva para os resfriadores evaporativos

Na utilização da água de chuva para os resfriadores evaporativos, deve-se considerar um acréscimo no custo total de implantação do projeto de US\$3.296,00, que é o investimento das instalações para aproveitamento da água de chuva (US\$3.476,00) menos o custo da instalação da água proveniente da rede pública (US\$180,00).

Com a implantação de uma cisterna (aproveitamento da água de chuva) o custo operacional tende a subir, já que se está acrescentando ao sistema, equipamentos na qual requer cuidados de limpeza, manutenção e operação, cerca de 25% acima do custo operacional utilizando a água proveniente da rede pública, já tratada. Ainda assim, a implantação de um sistema que utiliza água de chuva pode apresentar uma vantagem em sua aplicação, não só pela economia nos gastos com a concessionária, impactando uma diminuição no preço total de ar resfriado (média de US\$0,0019/TRh:US\$54,72/ano), mas principalmente na contribuição que o sistema oferece ao meio ambiente no âmbito social e ecológico.

4.3 ANÁLISE ECONÔMICA

4.3.1 Método utilizado para análise econômica

Neste estudo foi adotado um método utilizado em análise econômica na área de cogeração que permite investigações de rentabilidade de empreendimentos que são tomadas por base também aspectos quantitativos do custo de produção dos insumos que são comparados com valores oferecidos pelo mercado para uma decisão (BALESTIERI, 2002). Nesse caso estudado, faz-se comparações entre energia elétrica e gás natural disponibilizadas pelas concessionárias e recursos próprios como o vapor, o condensado de vapor, os gases de combustão de caldeira e também o aproveitamento da água de chuva. As equações aqui apresentadas foram adaptadas de acordo com o projeto estudado. Para análise econômica é necessário primeiramente levantarmos todos os investimentos aplicados a cada projeto, aqueles na qual serão gastos no ato do investimento. Depois é feito um levantamento de todos os custos fixos mensais, aqueles gastos que serão feitos de acordo com o consumo energético, manutenção e operação. Esses custos mensais, aqui em dólares, deverão ser em função de uma unidade específica, nesse estudo por unidade de potência para o ar resfriado (TRh). Poderia ser também adotado outras unidades como, por exemplo, volume de produção de ar resfriado (m³) ou por unidade energética (kJ).

As equações são apresentadas a seguir (BALESTIERI, 2002):

$$R = H \times CS \times (-P_{ARR} - CTI) \quad (4.1)$$

$$CTI = \frac{IPL \times F}{H \times CS} + CUI + CO \quad (4.2)$$

$$F = \frac{q^k \times (q - 1)}{q^k - 1} \quad (4.3)$$

$$q = 1 + \frac{r}{100} \quad (4.4)$$

Onde, R é a receita (US\$/TRh), P_{ARR} , o preço total de produção de ar resfriado (US\$/TRh), CTI o custo total do investimento usado para os insumos (US\$/TRh), k igual ao tempo (anos) e F o fator de anuidade (ano^{-1}). Considerou-se uma taxa de juros de 12% ao ano ($r=12\%$).

Quando se utilizam as equações acima, obtêm-se resultados de amortização ao longo do tempo o que possibilita mostrar os resultados através de gráficos, onde cada curva representa um sistema estudado. Dessa forma pode-se em primeiro lugar observar comportamento de vários sistemas estudados ao mesmo tempo. Em segundo lugar observa-se que nenhuma curva “toca” ou “cruza” o eixo “0”, isso porque esse eixo significa o retorno de investimento em um determinado tempo a partir do qual o sistema começa a ter economia específica. Os cruzamentos dessas curvas com o eixo “0” poderão ser obtidos quando o objeto de estudo tiver geração de energia própria, comumente observada em sistemas de cogeração ou energia solar, eólica entre outras. O “espaço” que falta para se chegar até o eixo “0”, nos casos aqui apresentados, representa o quanto esses sistemas irão gastar com energia, manutenção e operação em longo prazo. Em outras palavras, seria o custo que se teria que pagar a uma concessionária pela energia gasta e pelo custo operacional. Nos casos aqui estudados, sempre se irá utilizar energia elétrica para acionar a bomba de condensado de vapor para retorno à caldeira ou bomba de água para o aproveitamento de água de chuva. No entanto, esses gráficos se tornam interessantes quando é comparado ou quando é feito a diferença de gastos entre um sistema favorável e outro menos favorável. Nesse caso é possível cruzar o eixo “0” indicando o tempo em que se pagará um investimento em relação ao outro investimento. Essas situações favorecem uma tomada de decisão quando é estudado analiticamente diversos investimentos propostos em uma indústria. Por convenção se irá chamar de amortização dos investimentos ao longo do tempo quando estiver estudando sistemas separados e chamar de retorno de investimento ou “*pay back*” quando se estiver comparando um sistema com outro. Adequando-se a equação 4.1, propõe-se a equação 4.5 para se obter o retorno de investimento, conforme segue:

$$R = H \times CS \times (P_{ARR}^{Cason} - P_{ARR} - CTI) \quad (4.5)$$

Onde, P_{ARR}^{Cason} é o preço do ar resfriado em um determinado caso n, no qual se está fazendo a comparação.

Casos estudados:

- Caso I: Sistema por compressão de vapor (R-22).
- Caso II: Sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo com utilização de energia elétrica para aquecimento do ar de reativação.
- Caso III: Sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo com utilização de gás natural para aquecimento do ar de reativação.
- Caso IV: Sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo com utilização de vapor para aquecimento do ar de reativação.
- Caso V: Sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo com utilização de condensado de calor para aquecimento do ar de reativação.
- Caso VI: Sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo com utilização de gases de combustão de caldeira para aquecimento do ar de reativação.

4.3.2 Amortização dos investimentos para os SISREAD's ao longo do tempo

A Figura 4.1 abaixo mostra as características de cada sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo estudado nesse trabalho, sem considerar os investimentos relativos à implantação do aproveitamento da água de chuva. Embora o custo do investimento do sistema na qual utiliza os gases de combustão de caldeira para o fluxo ar de reativação (Caso VI) seja maior que os outros sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo (em torno de US\$51.600), pode-se perceber que a curva dessa configuração é mais favorável que as outras por se tratar de uma energia mais econômica em relação aos outros sistemas. É a curva que mais se aproxima do eixo "0".

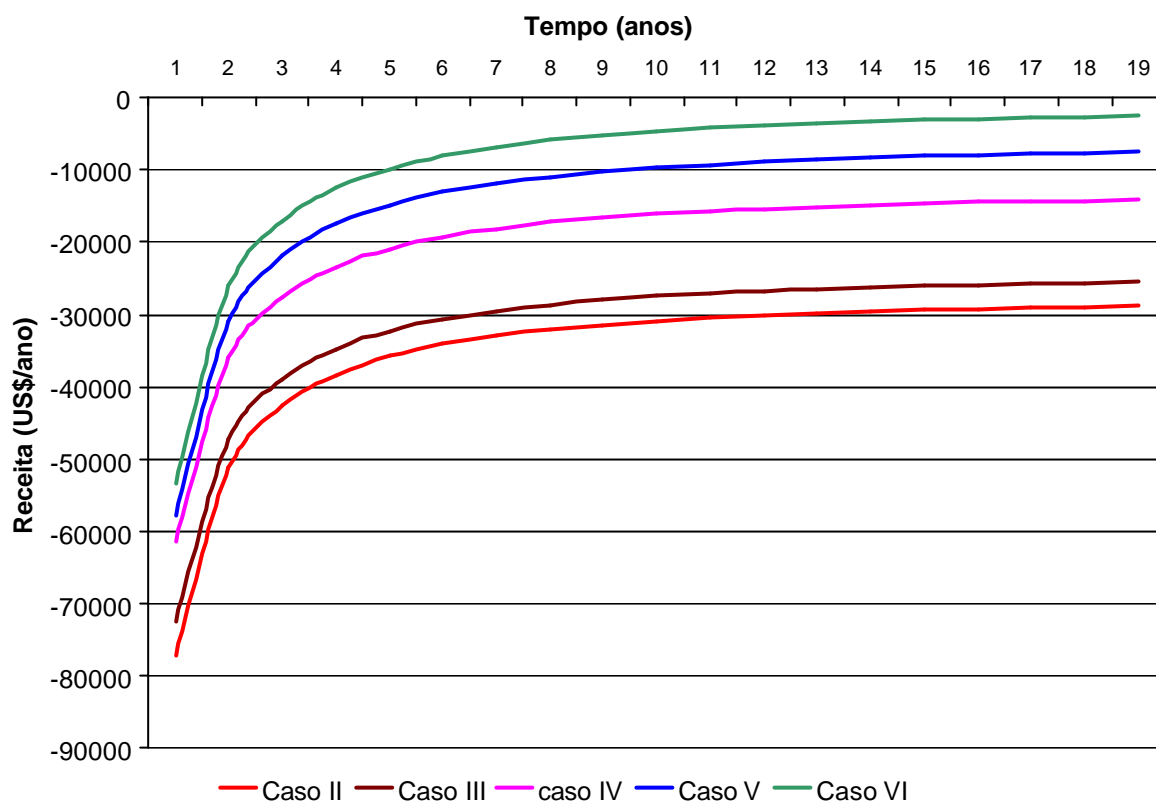


Figura 4.1 Amortização dos investimentos dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva

A Figura 4.2 mostra as mesmas características da Figura 4.1, porém considerando os investimentos relativos à implantação do aproveitamento da água de chuva.

Observa-se que os investimentos são maiores comparando-se com as curvas da Figura acima, porém, representam pouco em relação ao total dos investimentos. Cabe aqui citar duas características favoráveis: a questão ecológica e a questão social. Os detalhes desses argumentos não serão levados em consideração nessa sessão, mas está sendo citados apenas para chamar a atenção quanto à importância que poderá ter esse investimento em indústrias na qual buscam políticas claras de preservação ambiental e social.

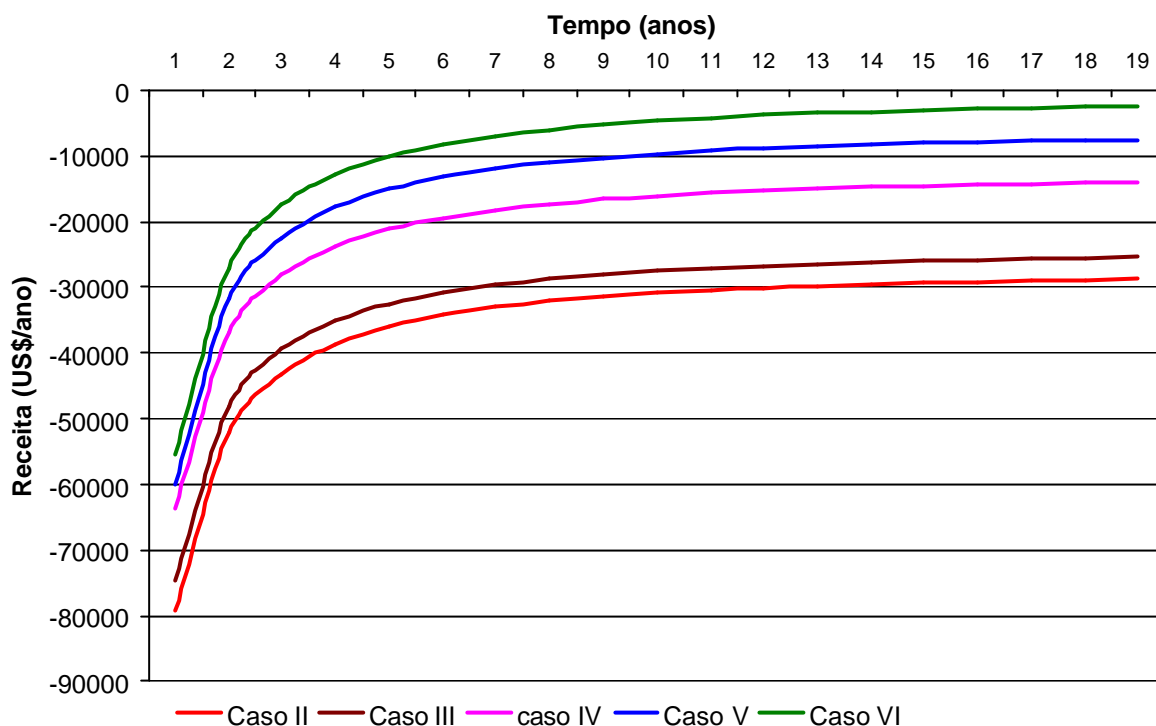


Figura 4.2 Amortização dos investimentos dos SISREAD's com aproveitamento da água de chuva

4.3.3 Retorno de investimento dos SISREAD's

Cabe-se nesse momento, analisar economicamente o retorno de investimento de cada SISREAD. Para tanto, é necessário comparar com o sistema menos favorável, para se ter uma tomada de decisão. A comparação será, portanto com o SISREAD que se utiliza da energia elétrica para aquecimento do ar de reativação.

As figuras 4.3 e 4.4, mostra que tanto para a implantação de cisterna para aproveitamento de água de chuva ou não os resultados para o retorno de investimento são bem parecidos, 44 e 45 meses para utilização dos gases de combustão; 65 e 67 meses para a utilização do condensado de vapor. Para a implantação do SISREAD's utilizando o vapor como fonte de calor para reativação do adsorvente, tem-se o retorno de investimento em torno de 20 anos, período no qual não se registra retorno de investimento na utilização de gás natural.

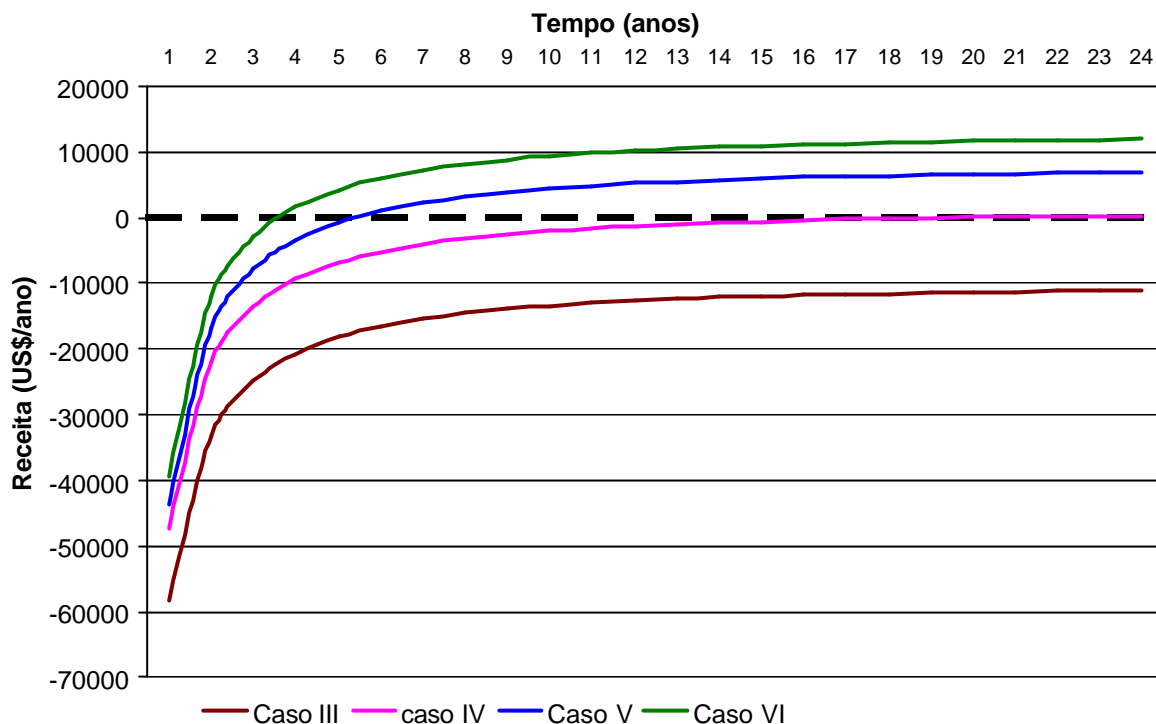


Figura 4.3 Retorno de investimento dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva em relação ao Caso II

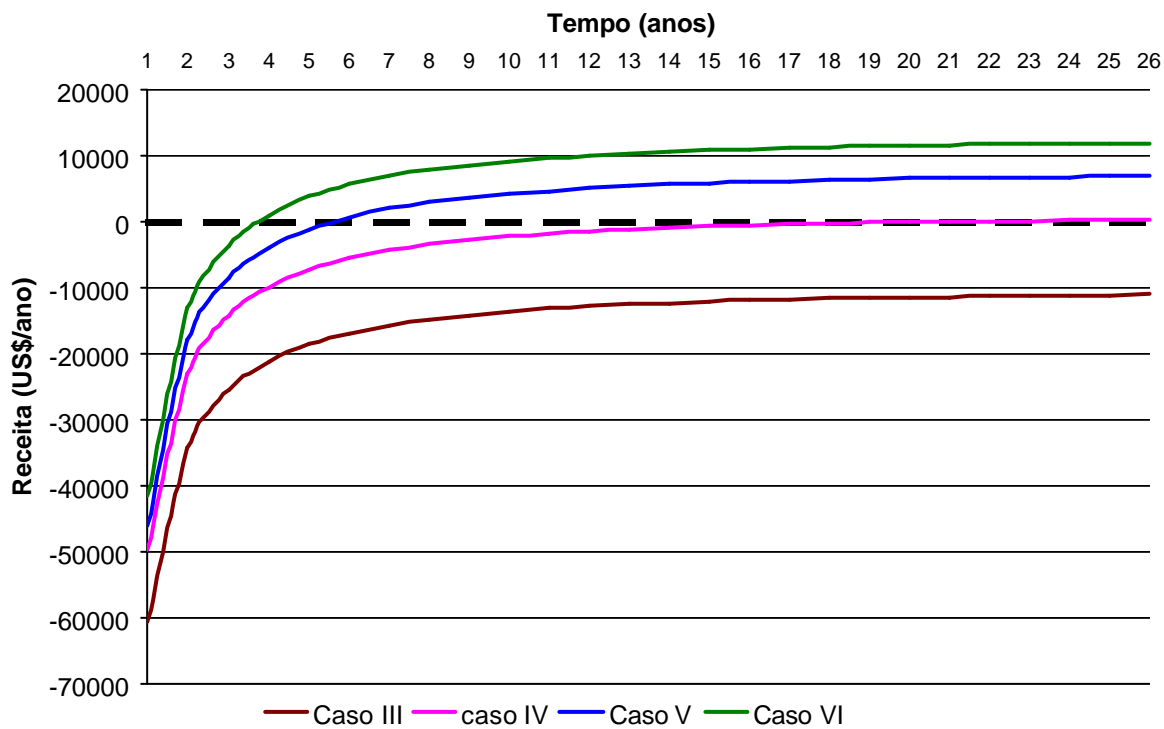


Figura 4.4 Retorno de investimento dos SISREAD's com aproveitamento da água de chuva em relação ao Caso II

4.3.4 Análise econômica dos investimentos a longo prazo do Caso VI, comparado com o Caso I

Nesse item foi comparado o custo do Caso VI, que é o projeto mais favorável dos sistemas de resfriamento evaporativo-adsortivo com o sistema convencional de condicionamento de ar. Observa-se que o retorno de investimento se dá após 15 anos para o sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo com ou sem a implantação da cisterna e que a curva é mais acentuada que o sistema convencional. Isso se dá pelo fato de que os custos mensais com os insumos são mais baixos no Caso VI do que no sistema convencional. Embora o retorno de investimento esteja muito acima do que é considerado viável nas indústrias, além dos custos mensais mais baixos, deve-se considerar a questão ambiental e social nas tomadas de decisão, o que tornam os investimentos mais atrativos.

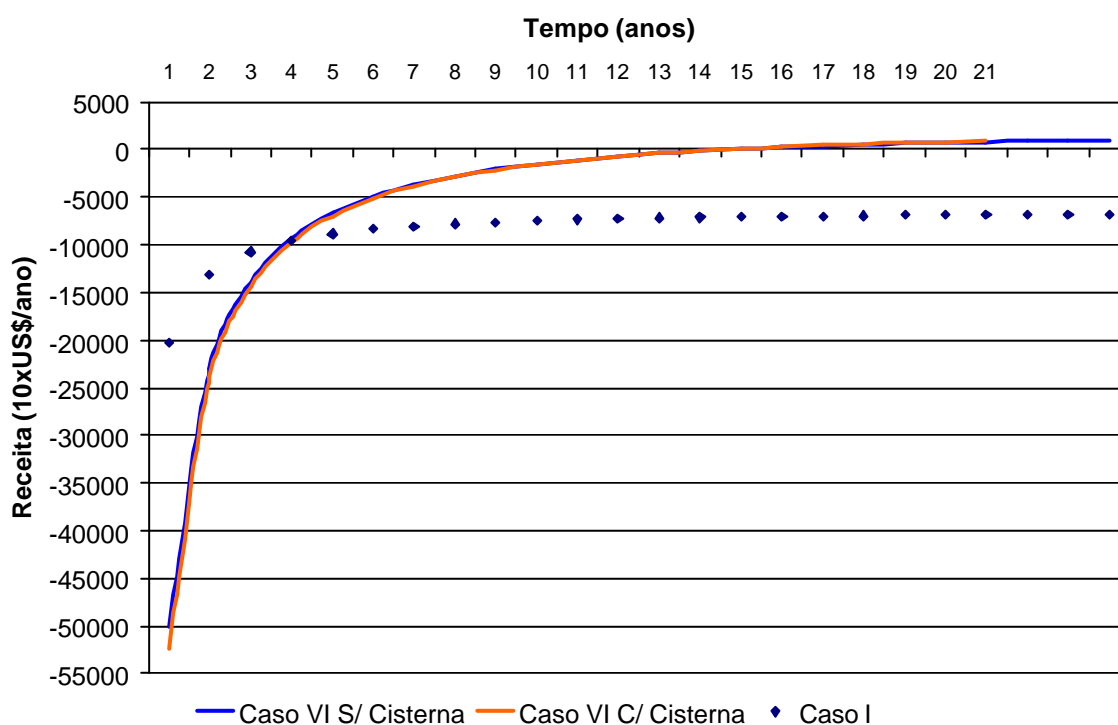


Figura 4.5 Retorno de investimentos do Caso VI em relação ao Caso I

4.3.5 Análise econômica para energia consumida nas fontes de calor utilizadas nos SISREAD's em relação ao caso II

Nesse tópico será levado em consideração apenas os insumos consumidos para a fonte de calor para o fluxo de ar de reativação e a água consumida nos resfriadores evaporativos, água

proveniente da rede pública na Figura 4.6 e aproveitamento de água de chuva na Figura 4.7 bem como suas instalações e operações.

Os demais insumos e investimento não serão tratados nessa análise, pois são custos iguais a todos os sistemas, como bombas de recirculação de água nos resfriadores, ventiladores, equipamentos, etc.

Na Figura 4.6, pode-se observar o comportamento das curvas dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva em relação ao Caso II. O retorno de investimento do Caso VI se dá no prazo de 3 meses, no Caso V em um prazo de 4 meses e para o Caso IV tem-se um prazo de 13 meses. Para o Caso III, no período de 20 meses ainda não será possível retornar o investimento.

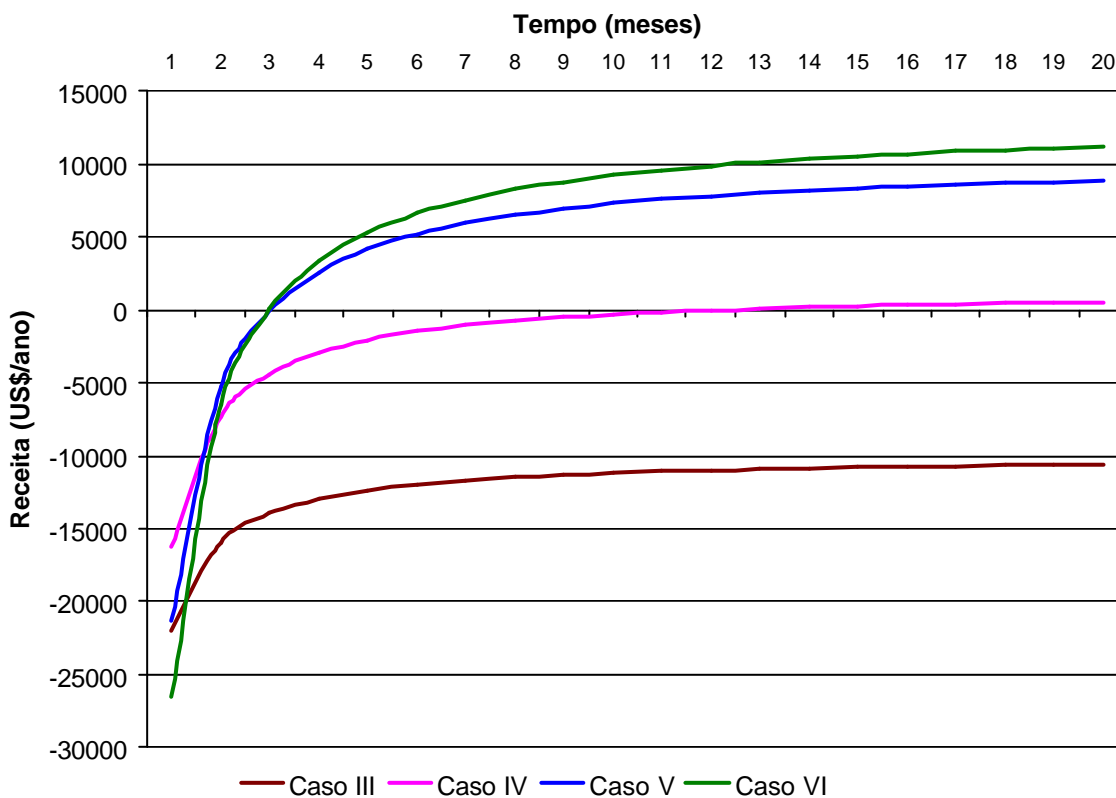


Figura 4.6 Retorno de investimento dos SISREAD's sem aproveitamento da água de chuva (apenas para fonte de calor).

Considerando um adicional de implantação de cisterna para aproveitamento de água de chuva, o investimento inicial se torna mais alto e o retorno de investimento será dada em um prazo mais longo, 7 meses para o Caso VI e para o Caso V, 31 meses para o Caso IV, conforme Figura 4.7. Para o Caso III, em 30 meses ainda não será possível o retorno de investimento.

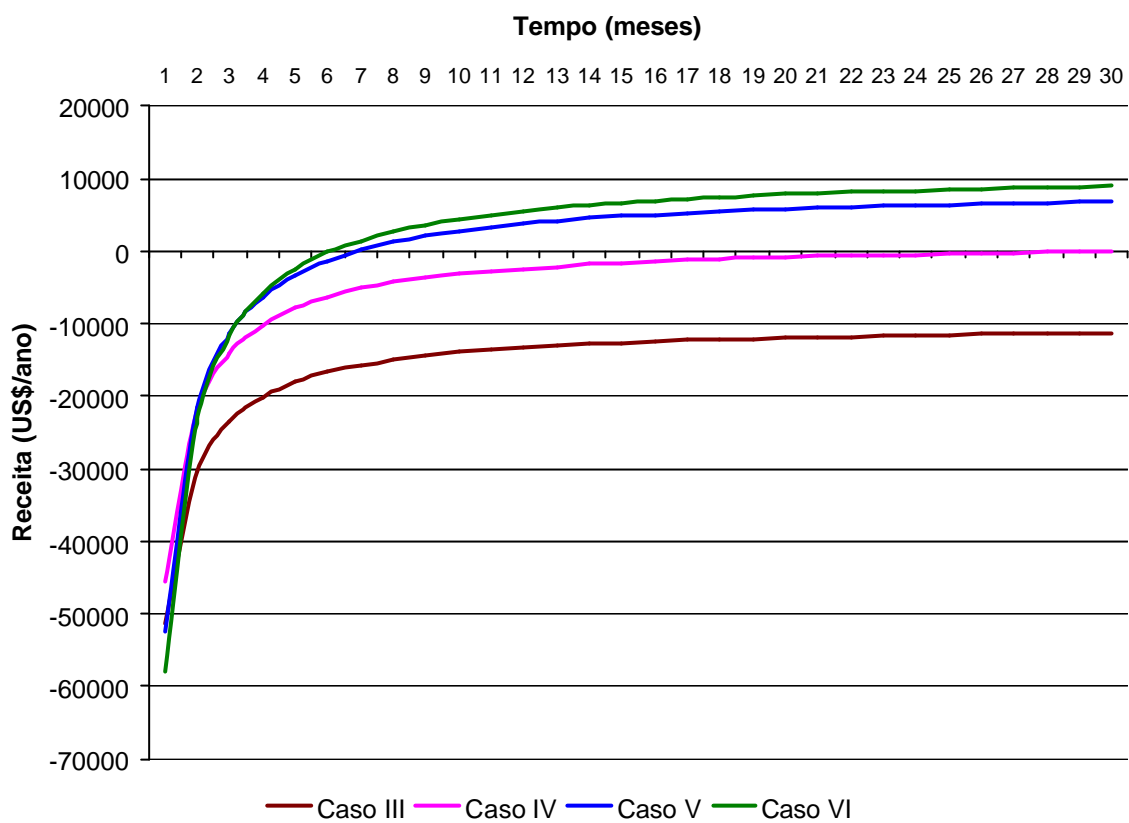


Figura 4.7 Retorno de investimento dos SISREAD's com aproveitamento da água de chuva (apenas para fonte de calor).

CAPITULO 5 CONCLUSÕES

Conclusões

Mostrou-se aqui os principais tipos de resfriadores evaporativos (direto e indireto) e sistemas acoplados, descreveu-se as características dos desumidificadores por adsorção e estudou-se as características de um novo sistema evaporativo-adsortivo para condicionamento de ar proposto por Camargo (2003).

Foi comentado que a aplicação desse sistema a diversas cidades, caracterizadas por diferentes condições climáticas, é possível atingir a zona de conforto, tendo em vista as condições do ar que será insuflado no ambiente. Isso demonstra a viabilidade da utilização desse sistema para conforto térmico humano em regiões de clima úmido.

Os sistemas de resfriamento evaporativo acoplados a um desumidificador adsortivo apresentam perspectivas promissoras, principalmente para aplicação em condicionamento de ar onde existem fontes de calor de baixo custo ou calor residual disponível, como em sistemas de cogeração. Aqui realizou-se cálculos utilizando-se diversos insumos como energia elétrica (resistores elétricos), gás natural, vapor, condensado de vapor e gases de combustão de caldeira. Concluiu-se que é vantajoso o uso dos gases de combustão de caldeira para o aquecimento do ar de reativação, pois é um insumo na qual se obtêm calor residual com alta temperatura, capaz de aquecer o ar de reativação na temperatura necessária (71,1°C) sem a utilização de ventiladores ou qualquer outro acessório que consuma outras energias. Ainda que os custos de implantação desse projeto sejam mais alto que todos os outros tipos de fonte de calor aqui estudados, não há gastos mensais o que traz resultados favoráveis. Pode se observar também que o condensado de vapor é um insumo bastante interessante quando se tem disponibilidade. É o insumo que mais se aproxima das vantagens que o aproveitamento dos gases de combustão tem por se tratar de calor residual de processo com custo baixo mensal.

Estudou-se também o emprego da água de chuva para os resfriadores evaporativos. Foi comentado que o seu emprego é justificado pelo fato de que esse sistema poderá ser utilizado em qualquer região na qual a umidade relativa do ar seja alta, assim como em regiões caracterizadas pelos altos índices pluviométricos, sendo o seu armazenamento facilitado nessas condições. Mostrou-se como dimensionar uma cisterna de acordo com o índice pluviométrico da região estudada. Com essa opção, puderam ser estudadas diversas configurações e foram feitas análises

comparativas chegando-se a conclusão de que o investimento inicial para implantação de um projeto para aproveitamento da água de chuva, pode ser um bom negócio no ponto de vista econômico. Isso se dá pelo fato de que o valor agregado em termos de custo é muito pequeno em relação ao investimento global de cada sistema de resfriamento evaporativo-adsortivo. Mas, a política ambiental e social que muitas indústrias buscam, torna esse investimento muito atrativo, ainda que o retorno de investimento não seja a curto prazo.

Concluiu-se também que quando se estuda isoladamente a influência dos insumos e sua instalação e operação, para a fonte de calor e também o aproveitamento da água de chuva, os resultados são muito mais visíveis. Isso se dá pelo fato de não se computar os custos iguais para todos os casos estudados aqui, como por exemplo, as bombas de recirculação de água nos evaporadores, os evaporadores, o dessecante, os ventiladores o que torna o estudo mais específico. Assim pode-se ter um gráfico mais aparente e perceptível em termos de comparação energética.

Como sugestão para futuros trabalhos nesta área pode-se citar:

1. Emprego de energia solar, eólica ou outro tipo de energia combinada, para recalque do condensado de vapor para retorno na caldeira e para a bomba de recalque de água da cisterna para os resfriadores evaporativos;
2. Estudo de implantação de projetos de aproveitamento de água de chuva em lajes, na concepção de novos projetos arquitetônicos, de forma a evitar o uso de bomba de recalque. Estudo da influência desses investimentos comparado à benefícios agregados aos sistemas.
3. Estudos de materiais recicláveis e mais baratos para os dessecantes e resfriadores evaporativos, contribuindo para diminuição de custos de implantação desses sistemas e consequentemente para a diminuição no retorno dos investimentos comparados com o sistema convencional.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 6401 Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Handbook Applications, SI Edition, chap. 47, 1995.
- BALESTIERI J. A. P. Cogeração: Geração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis Ed da UFSC, 2002; 279 p.
- BASENGE TERMODINÂMICA. Artigos técnicos, critério de utilização da climatização por resfriamento evaporativo. www.basenge.com.br, maio/2005.
- BELDING W. A., DELMAS M. P. F. Novel desiccant cooling system using indirect evaporative cooler, ASHRAE Transactions, vol. 103, part 1, 1997; p.841-847.
- CAMARGO J. R., EBINUMA C. D. Resfriamento evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente. Anais da Jornada de Iniciação Científica e de Pós-Graduação, JORNADA 2001, UNESP/FEG, Guaratinguetá, SP, 2001.
- CAMARGO J. R., EBINUMA C. D. A mathematical model for direct and indirect evaporative cooling air conditioning systems. Proceedings of the 9th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, ENCIT2002, Caxambú, MG, Brazil. 2002a.
- CAMARGO J. R., EBINUMA C. D. Utilização de sistemas de resfriamento evaporativo acoplados a desumidificadores dessecantes para diversas cidades brasileiras. Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2002, UFPB, João Pessoa, PB, 2002b.
- CAMARGO J. R. Sistemas de resfriamento evaporativo e evaporativo-adsortivo aplicados ao condicionamento de ar. Tese de Doutorado, Faculdade do Campus de Guaratinguetá, Universidade Paulista – FEG/ UNESP, Guaratinguetá, SP, 2003; 1140 f.
- CAPRA F. As Conexões Ocultas - Ciência para uma Vida Sustentável. Cultrix, Amana-Key, 2003; 296 p.

CARDOSO S., CAMARGO J. R., TRAVELHO J. S. Introdução à utilização do resfriamento evaporativo para condicionamento de ar automotivo. Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, COBEM99, Águas de Lindóia, SP, 1999.

CUI Q., CHEN H., TAO G., YAO H Performance study of new adsorbent for solid desiccant cooling. Published by Elsevier Ltd., Energy 30 2005; p.273-279.

DAOU K., WANG R. Z., XIA Z. Z. Desiccant cooling air conditioning: a review. Published by Elsevier Ltd., Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2004; p.23.

DUARTE, L. A. Jr. Estudo Comparativo dos Fumos Produzidos e Energia Liberada pela Queima de Óleo B.P.F. e Lenha em Caldeiras, Dep. de Física e Química, Faculdade de Engenharia - UNESP, 2005, P. 11.

FOSTER, R. E. Evaporative air-conditioning contributions to reducing greenhouse gas emissions and global warming. In: ASHRAE Toronto Seminar 24, TC 5.7, Strategies for Reducing Energy Use with Evaporative Cooling Technologies, Toronto Canada, 1998.

HALLIDAY S. P., BEGGS C. B., SLEIGH P.A. The use of solar desiccant cooling in the UK: a feasibility study. Applied Thermal Engineering, 22 (2002); p.1327-1338.

HARRIMAN L. G. The Dehumidification Handbook. Munters Cargocaire, 2nd ed. Amesbury, MA, 1990; 194p.

IDHEA – Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica – Consulta comercial, abril/2004.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, Precipitação Total Mensal X Precipitação (Normal Climatológica 61-90), <http://inmet04.inmet.gov.br>, maio/2005.

JALALZADEH-AZAR A. A. Consideration of transient response and energy cost in performance evaluation of a desiccant dehumidification system. ASHRAE Transactions: Research, Minneapolis, USA, 2000; p.210-216.

JALALZADEH-AZAR A. A., STEELE W. G., HODGE B. K. Performance characteristics of a commercially available gas-fired desiccant system. ASHRAE Transactions: Research, 106 (1), Minneapolis, USA, 2000; p.95-104.

JAIN S., DHAR P. L., KAUSHIK S. C. Optimal design of liquid desiccant cooling systems. ASHRAE Transactions: Research, Minneapolis, USA, 2000a; p.79-86.

JAIN S., DHAR P. L., KAUSHIK S. C. Experimental studies on the dehumidifier and regenerator of a liquid desiccant cooling system. Applied Thermal Engineering, 20 (2000), 2000b; p.253-267.

JEONG J., MUMMA S. A. Practical thermal performance correlations for molecular sieve and silica gel loaded enthalpy wheels. Published by Elsevier Ltd., Applied Thermal Engineering, (2004).

KANOGLU M., ÇARPINHOGLU M. Ö. Energy and exergy analyses of an experimental open-cycle desiccant cooling system. Published by Elsevier Ltd. Applied Thermal Engineering, 24 (2004), p.919-932.

MACINTYRE A. J. Ventilação industrial e controle da poluição. Ed. Guanabara, 2ª ed., 1990, 403p.

MAVROUDAKI P., BEGGS C. B., SLEIGH P. A., HALLIDAY S. P. The potential for solar powered single-stage desiccant cooling in southern Europe. Published by Elsevier Science Ltd. Applied Thermal Engineering, 22 (2002), p.1129-1140.

MUNTERS Dehumidification Division. Modular dehumidification unit with options. Catálogo comercial M162011 Rev. 2, para modelo HCD-4500.

NIU J. L., ZHANG L. Z., ZUO H. G. Energy savings potential of chilled-ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates. Published by Elsevier Science B. V. Energy and Buildings, 34 (2002), p.487-495.

REVISTA DO FRIO. Artigos técnicos sobre Refrigeração – Resfriamento Evaporativo do Ar (material cedido pela BASENGE), <http://revistadofrio.com.br/artigore.htm>, site visitado em jan/2005.

SCHIBUOLA L. High-efficiency recovery for air-conditioning applications in a mild climate: a case study. Applied Thermal Engineering, vol. 17, n. 5, 1997; p.447-454.

SHEN C. M., WOREK W. M. The second-law analysis of a recirculation cycle desiccant cooling system: cosorption of water vapor and carbon dioxide. Atmospheric Environment, vol. 30, n.9, 1996; p.1429-1435.

TOMAZ P. Aproveitamento de Água de Chuva para áreas urbanas e fins não Potáveis, Navegar Editora, 2003; 180 p.

TORREY M., WESTERMAN J. Desiccant Cooling Technology Resource Guide. Science Applications International Corporation, Jan., 2000; 101p.

TRANE. Trane Air Conditioning Manual. The Trane Company, La Crosse, Wisconsin, 1978; 456 p.

3P TECHNIK DO BRASIL Ltda. Solução para o manejo sustentável das águas pluviais. <http://www.agua-de-chuva.com>, site visitado em jan/2005.

VINEYARD E. A., SAND J. R., DURFEE D. J. Parametric analysis of variables that affect the performance of a desiccant dehumidification system. ASHRAE Transactions: Research, 106 (1), Minneapolis, USA, 2000; p.87-94.

WATT J.R. Evaporative air conditioning. The Industrial Press, New York, 1963, 300 p.

WATT, J. R.; BROWN, W. K. Evaporative air conditioning handbook. 3^a ed., The Fairmont Press, Inc., Lilburn, GA, 1997; 507 p.

WYLEN G. J. V., SONTAG R. E. Fundamentos da termodinâmica clássica. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Michigan, EUA, 1976; 567 p.

YANJUN D., RUZHU W., HEFEI Z., JINDI Y. Use of liquid desiccant cooling to improve the performance of vapor compression air conditioning. 2000; p.414-419.

ZHANG L. Z., NIU J. L. A pre-cooling Munters environmental control desiccant cooling cycle in combination with chilled-ceiling panels. Published by Elsevier Science Ltd. Energy, 28 (2003), p.275-292.

ZHENQIAN C., MINCHENG S. Indirect evaporative cooling and desiccant dehumidifying using advanced heat pipe heat exchangers. 2000; p.318-321.

APÊNDICE

Resumo dos Investimento - Sem Aproveitamento da água de chuva

Descrição	Fonte de Calor para Reativação		Energia Elétr.		Gás Natural		Vapor		Condensado		Gases Combustíveis	
	CS	TR	10	2880	10	2880	10	2880	10	2880	10	2880
un.	h/ano	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
Capacidade do Sistema												
Horas anuais de Funcionamento	H	2880										
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	IFC	NA										
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	IRE	180,00										
Invest. Instalação Elétrica	IIE	2800,00										
Invest. Instalação Frigorífica	IIFR	NA										
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	2980,00										
Dutos, grelhas e difusores (Instal. e retorno)	IDT	4500,00										
Bombas	IB	117,68										
Ventiladores	IIV	3556,50										
Resfriadores Evaporativos	IRE	2000,00										
Módulo Dessecante	IUD	35946,12										
Unidades Condensadoras/Evaporadoras (R-22)	ICE	NA										
Investimento Total de Equipamentos	ITE	46120,30										
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	49100,30										
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	ChC	1088,90										
		US\$/TRh										
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	ChE	5,07										
		US\$/TRh										
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P _{INST}	2,94										
		US\$/TRh										
Custo de Utilização dos Insumos	CU	482037500										
		US\$/mês										
Custo Operacional dos Sistemas	CO	0,050000000										
		US\$/TRh										
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	0,48703750										
		US\$/TRh										

Fator anuidade F (1/ano)	K (meses)	Custo Inv. (US\$/m² _{ARR}) CTI	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m² _{ARR}) CTI	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m² _{ARR}) CTI	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m² _{ARR}) CTI	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m² _{ARR}) CTI	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m² _{ARR}) CTI	Receita US\$/ano R								
														1	2	3	4	5	6	7	8
12	12	2,19190903	-77153,66	2,08403681	-72390,22	1,90140764	-61420,78	1,89048632	-57814,406	1,82144049	-53297,366	1,82144049	-53297,366								
24	24	1,29122218	-51213,87887	1,20994849	-47216,4766	1,01906461	-36009,3008	0,95352814	-30830,01038	0,87457664	-26027,68736	0,87457664	-26027,68736								
36	36	0,99227444	-42604,18385	0,91982909	-38861,03783	0,72620538	-27574,9549	0,64254154	-21873,59647	0,56030225	-16976,58492	0,56030225	-16976,58492								
48	48	0,84375533	-38326,83359	0,77969996	-32240,54095	0,58071108	-23384,7192	0,48804146	-17423,9841	0,40416877	-12479,94069	0,40416877	-12479,94069								
60	60	0,75540087	-35782,22506	0,68995073	-32240,54095	0,49415609	-20891,9353	0,39612890	-14776,91227	0,31128450	-9804,873524	0,31128450	-9804,873524								
72	72	0,69712152	-34103,77974	0,63339245	-30611,66245	0,43706368	-19247,674	0,33550259	-13030,87469	0,25001724	-8040,376583	0,25001724	-8040,376583								
84	84	0,65602051	-32920,07057	0,59350520	-29462,90985	0,39679975	-18088,0728	0,29274641	-11799,49666	0,20688004	-6795,980239	0,20688004	-6795,980239								
96	96	0,62564840	-32045,3539	0,56403003	-28614,02478	0,36704622	-17231,1711	0,26115120	-10889,5545	0,17487979	-5876,418033	0,17487979	-5876,418033								
108	108	0,60242131	-31376,41374	0,54148887	-27964,83935	0,34429218	-16575,8549	0,23698874	-10193,67561	0,15046188	-5173,182215	0,15046188	-5173,182215								
120	120	0,58418818	-30851,29956	0,52379418	-27455,23252	0,32643040	-16061,4354	0,20282441	-9209,742945	0,11593636	-4178,847263	0,11593636	-4178,847263								
132	132	0,56957954	-30430,57088	0,50961696	-27046,92854	0,31211929	-15649,2755	0,19044767	-8853,292932	0,10342878	-3818,628808	0,10342878	-3818,628808								
144	144	0,55768193	-30087,91968	0,49807071	-26714,39631	0,30046399	-15313,6029	0,19044767	-8853,292932	0,10342878	-3818,628808	0,10342878	-3818,628808								
156	156	0,54786253	-29805,12098	0,48854129	-26439,94905	0,29084458	-15036,5638	0,18023284	-6595,105715	0,09310595	-3521,3314	0,09310595	-3521,3314								
168	168	0,53966901	-29569,14745	0,48058973	-26210,94414	0,28261792	-14805,3962	0,17170835	-8313,629345	0,08449235	-3273,259818	0,08449235	-3273,259818								
180	180	0,53276938	-29370,43821	0,47389386	-26018,10307	0,27605882	-14610,734	0,16453187	-8106,917944	0,07723899	-3064,363033	0,07723899	-3064,363033								
192	192	0,52691448	-29201,8169	0,46821185	-25854,46138	0,27032316	-14445,5469	0,15844118	-7931,506125	0,07108391	-2887,096735	0,07108391	-2887,096735								
204	204	0,52191359	-29057,79146	0,46335865	-25714,6892	0,26542412	-14304,4547	0,15323891	-7781,680668	0,06582664	-2735,687301	0,06582664	-2735,687301								
216	216	0,51761831	-28934,08737	0,45919022	-25594,63827	0,26121632	-14183,2701	0,14877066	-7652,994927	0,06131115	-2605,641075	0,06131115	-2605,641075								
228	228	0,51391140	-28827,32827	0,45559277	-25491,03191	0,25758491	-14078,6853	0,14481446	-7541,936555	0,05741419	-2493,408577	0,05741419	-2493,408577								
240	240	0,51069904	-28734,81226	0,45247528	-25401,24803	0,25443797	-13988,0535	0,14157274	-7445,694859	0,05403713	-2396,1494	0,05403713	-2396,1494								
252	252	0,50790528	-28654,35217	0,44976403	-25323,16403	0,25170111	-13909,2321	0,13866648	-7361,994572	0,05110015	-2311,564221	0,05110015	-2311,564221								
264	264	0,50546803	-28584,15923	0,44733975	-25255,04399	0,24931350	-13840,4687	0,13613107	-7288,974911	0,04853794	-2237,72586	0,04853794	-2237,72586								

$$F = \frac{q^k \cdot (q - 1)}{q^k - 1}$$

$$R = H \times Q_{ARR} \times (P_{CASOII} - P_{ARR} - CTI)$$

$$r = 12\% \text{ (a.a.)}$$

Resumo dos Investimento - Com Aproveitamento da água de chuva

Aproveitamento de água de chuva		CASO II		CASO III		CASO IV		CASO V		CASO VI		
Fonte de Calor para Reativação			sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	
Descrição			Energia Elétr.		Gás Natural		Vapor		Condensado		Gases de Combustão	
Nom.			un.		un.		un.		un.		un.	
Capacidade do Sistema	CS		TR	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Horas anuais de Funcionamento	H		h/ano	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	Ilrc		US\$	NA	750,00	1200,00	1200,00	2300,00	2300,00	2300,00	2920,00	2920,00
Invest. Instal. de Sistema (Aprov. Água Pluv.)	Ilcc		US\$	2476,00	2476,00	2476,00	2476,00	2476,00	2476,00	2476,00	2476,00	2476,00
Invest. Instalação Elétrica	IlEE		US\$	2800,00	600,00	600,00	600,00	680,00	680,00	680,00	600,00	600,00
Invest. Instalação Frigorígena	IlFR		US\$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Investimento Total dos Insumos	ITI		US\$	5276,00	3826,00	4276,00	4276,00	5456,00	5456,00	5996,00	5996,00	5996,00
Dutos, grelhas e difusores (insuf. e retorno)	Ior		US\$	4500,00	4500,00	4500,00	4500,00	4500,00	4500,00	4500,00	4500,00	4500,00
Bombas	Ibb		US\$	117,68	117,68	117,68	117,68	117,68	117,68	117,68	117,68	117,68
Ventiladores	Ive		US\$	3556,50	3556,50	3556,50	3556,50	3556,50	3556,50	3556,50	3556,50	3556,50
Resfriadores Evaporativos	Ire		US\$	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00	2000,00
Módulo Dessecante	Imp		US\$	35946,12	35946,12	35946,12	35946,12	37743,43	37743,43	37743,43	37743,43	37743,43
Unidades Condensadoras/Evaporadoras (R-22)	Icc		US\$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Investimento Total de Equipamentos	ITE		US\$	46120,30	46120,30	46120,30	46120,30	47917,61	47917,61	47917,61	47917,61	47917,61
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL		US\$	51396,30	49946,30	50396,30	50396,30	53373,61	53373,61	53913,61	53913,61	53913,61
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	Clrc		US\$/mês	1096,90	960,84	960,84	485,03	197,39	197,39	197,39	197,39	NA
			US\$/TRh	0,457875000	0,400350000	0,400350000	0,202095633	0,0822245833	0,0822245833	0,0822245833	0,0822245833	NA
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (Bomba do Sistema)	Pnset		kWh	0,37	0,19	0,19	0,19	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
			US\$/mês	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
			US\$/TRh	0,000078163	0,000078163	0,000078163	0,000078163	0,000078163	0,000078163	0,000078163	0,000078163	0,000078163
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	Pnset		kWh	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
			US\$/mês	52,92	52,92	52,92	52,92	52,92	52,92	52,92	52,92	52,92
			US\$/TRh	0,022050000	0,022050000	0,022050000	0,022050000	0,027600000	0,027600000	0,027600000	0,027600000	0,027600000
Custo de Utilização dos Insumos	CUI		US\$/TRh	0,48003163	0,424278163	0,424278163	0,424278163	0,224223996	0,109293996	0,109293996	0,022128163	0,022128163
			US\$/mês	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Custo Operacional dos Sistemas	CO		US\$/TRh	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000
			US\$/TRh	0,485003316	0,427478163	0,427478163	0,229224000	0,114924000	0,114924000	0,114924000	0,025728163	0,025728163

$$F = \frac{q^k \cdot (q-1)}{q^k - 1}$$

$$R = H \times Q_{ARR} \times (P_{CASOII} - P_{ARR} - CTI)$$

K (meses)	Fator anuidade F (1/ano)	K (anos)	Custo Inv. (US\$/m³ ARR)	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m³ ARR)	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m³ ARR)	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m³ ARR)	Receita US\$/ano R	Custo Inv. (US\$/m³ ARR)	Receita US\$/ano R
12	1	1	2,26959691	-7932,48216	2,16172469	-74569,04216	1,97909552	-63599,60216	1,98812837	-55476,1882	1,98812837	-55476,1882
24	0,4716981	2	1,32679267	-52179,7199	1,24551898	-48182,31763	1,05463509	-36975,14178	0,98909862	-31795,8514	0,91014713	-26993,5284
36	0,2963349	3	1,01386570	-43187,42327	0,94142035	-39424,27725	0,74779864	-28138,19429	0,66413281	-22436,6359	0,58189352	-17539,8243
48	0,2092344	4	0,85840163	-38690,05802	0,79034226	-35073,22809	0,59535738	-23747,94388	0,50268776	-17787,2185	0,41881507	-12843,1651
60	0,1574097	5	0,76591559	-36026,45987	0,70046544	-32484,71585	0,50465317	-19413,42243	0,40664361	-15021,1472	0,32179921	-10049,1084
72	0,1232257	6	0,70491101	-34289,52815	0,64118194	-30777,41086	0,44485317	-15021,1472	0,34329208	-13196,6231	0,25780673	-8206,12499
84	0,0991177	7	0,66188805	-33030,46705	0,59937275	-29573,30633	0,40266730	-18198,48931	0,29861396	-11909,8931	0,21267658	-6906,37672
96	0,0813028	8	0,63009571	-32114,84739	0,56847733	-28663,51827	0,37149352	-17300,66454	0,26559850	-10959,048	0,17932710	-8945,91152
108	0,0676789	9	0,60578248	-31414,62663	0,54485004	-28003,05224	0,34765336	-16614,06774	0,24034991	-10231,8885	0,15382306	-5211,3951
120	0,0569842	10	0,58669675	-30864,95736	0,52630275	-27468,89032	0,32893896	-16075,09319	0,22052991	-9661,07249	0,13380253	-4634,80393
132	0,0484154	11	0,57140499	-30424,5548	0,51144241	-27040,91247	0,31394473	-15643,2594	0,20464895	-9203,72687	0,1176181	-4172,83119
144	0,0414388	12	0,55895103	-30025,88075	0,49933980	-26692,35738	0,30173909	-15291,56395	0,19171677	-8831,254	0,10468787	-3796,58998
156	0,0358772	13	0,54867246	-29769,85798	0,48935121	-26404,68605	0,29165450	-15001,30079	0,18104277	-8523,84272	0,09391588	-3486,0684
168	0,0308712	14	0,54009580	-29522,84999	0,48101651	-26164,64668	0,28324471	-14759,09874	0,17213614	-8287,33189	0,08491914	-3226,96236
180	0,0268242	15	0,53287353	-29314,84883	0,47399801	-25962,51368	0,27616297	-14555,14459	0,16463602	-8051,32856	0,07734314	-3008,77365
192	0,02339	16	0,52674484	-29138,34254	0,46804222	-25790,98702	0,27015352	-14382,07253	0,15827155	-7868,03177	0,07091428	-2823,62238
204	0,0204567	17	0,52151011	-28987,58226	0,46295517	-25644,48001	0,26502064	-14234,24554	0,15283543	-7711,47147	0,06542316	-2665,67711
216	0,0179373	18	0,51701398	-28858,09336	0,45835888	-25518,6445	0,26061199	-14107,27629	0,14816632	-7577,00115	0,06070681	-2529,6473
228	0,0157633	19	0,51313372	-28746,34229	0,45481510	-25410,04593	0,25680723	-13997,69928	0,14413679	-7460,95057	0,05663651	-2412,4226
240	0,0138788	20	0,50987115	-28649,5001	0,45154739	-25315,93587	0,25351008	-13902,74132	0,14064485	-7360,3827	0,05310924	-2310,83724
252	0,0122401	21	0,50684675	-28565,27758	0,44870650	-25234,08944	0,25064258	-13820,11748	0,13760795	-7272,91998	0,05004162	-2222,49693
264	0,0108105	22	0,50429553	-28491,80232	0,44628255	-25162,68708	0,24814100	-13748,11811	0,13495857	-7196,618	0,04736544	-2145,41567
276	0,00956	23	0,50206382	-28427,52899	0,44405750	-25100,22704	0,24595271	-13685,08902	0,13264100	-7129,87196	0,04502442	-2077,99434
288	0,0084634	24	0,50010697	-28371,17175	0,44215586	-25045,45976	0,24403393	-13629,82831	0,13060887	-7071,94657	0,04297173	-2018,87682
300	0,0075	25	0,49838756	-28321,65286	0,44048496	-24997,3379	0,24243298	-13581,27289	0,12882332	-7019,92259	0,0416811	-1986,95258

Retorno de Investimento dos SisREAD's em comparação com o Caso II - Sem Aproveitamento da água de chuva

Fonte de Calor para Reativação		Caso II		Caso III		Caso IV		Caso V		Caso VI	
		Energia Elétr.		Gás Natural		Vapor		Condensado		Gases de Combustão	
Descrição	Nom.	un.		10		10		10		10	
		CS	TR	CS	TR	CS	TR	CS	TR	CS	TR
Capacidade do Sistema	CS	2880	2880								
Horas anuais de Funcionamento	H	NA	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Invest. Instalat. de Insumos p/ Fonte de Calor	II _{FC}	US\$	180.00	750.00	750.00	1200.00	1200.00	1200.00	2300.00	2300.00	2920.00
Invest. Instalação de Água p/ o Resfri. Evap.	II _{EE}	US\$	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
Invest. Instalação Elétrica	II _{EE}	US\$	2800.00	600.00	600.00	600.00	600.00	600.00	680.00	600.00	600.00
Invest. Instalação Refrigerante	II _{FR}	US\$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Investimento Total das Instalat. dos Insumos	ITI	US\$	2980	1530	1980	1980	1980	1980	3160	3160	3700
Dutos, grelhas e difusores (insufli. e retorno)	I _{DT}	US\$	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00	4500.00
Bombas	I _{BB}	US\$	117.68	117.68	117.68	117.68	117.68	117.68	117.68	117.68	117.68
Ventiladores	I _{VE}	US\$	3556.50	3556.50	3556.50	3556.50	3556.50	3556.50	3556.50	3556.50	3556.50
Resfriadores Evaporativos	I _{RE}	US\$	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
Módulo Dessecante	I _{MD}	US\$	35946.12	35946.12	35946.12	35946.12	35946.12	35946.12	35946.12	35946.12	35946.12
Unidades Condensadoras/Evaporadoras (R-22)	I _{CE}	US\$	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	46120.30	46120.30	46120.30	46120.30	46120.30	46120.30	47917.61	47917.61	47917.61
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	49100.30	47650.30	48100.30	48100.30	48100.30	51077.61	51077.61	51077.61	51617.61
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	C _{FC}	US\$/mês	1098.90	960.84	960.84	485.03	485.03	197.39	197.39	197.39	NA
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	C _{RE}	US\$/TRh	0.457875000	0.400350000	0.400350000	0.202095833	0.202095833	0.082245833	0.082245833	0.082245833	NA
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	C _{EE}	US\$/TRh	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07	5.07
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0.482037500	0.424512500	0.424512500	0.226258333	0.226258333	0.111958333	0.111958333	0.111958333	0.024162500
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/TRh	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0.48703750	0.42851250	0.42851250	0.23125833	0.23125833	0.11695833	0.11695833	0.11695833	0.02916250

Fator anuidade F (1/ano)	K (anos)	Custo Inv. (US\$/m ² ARR)		Custo Inv. (US\$/m ² ARR)		Custo Inv. (US\$/m ² ARR)		Custo Inv. (US\$/m ² ARR)		Custo Inv. (US\$/m ² ARR)	
		CTI	R	CTI	R	CTI	R	CTI	R	CTI	R
12	1	2,19109003	-77153.66	2,08403681	-58363.54	1,90140764	-47394.1	1,89048632	-43787.726	1,82144049	-39270.686
24	2	1,29122218	-51213.87887	1,20994849	-33189.7966	1,01908461	-21982.6208	1,01908461	-21982.6208	0,95352814	-12001.00736
36	3	0,99227444	-42604.18385	0,91982909	-24834.35783	0,72620538	-13548.2749	0,64254154	-7846.916468	0,56030225	-2949.904917
48	4	0,84375533	-38326.83359	0,77569596	-20683.32366	0,58071108	-9358.03916	0,48804146	-3397.314099	0,40416877	-1546.739305
60	5	0,75540087	-35782.22506	0,68995073	-18213.86095	0,49415609	-6865.25533	0,39612890	-750.2322887	0,31128450	-4221.806476
72	6	0,69712152	-34103.77974	0,63339245	-16584.98245	0,43706368	-5220.99402	0,33550259	-995.8053052	0,25001724	-5986.303417
84	7	0,65602051	-32920.07057	0,59350520	-15436.22985	0,39679975	-4061.39283	0,29274641	-2227.183338	0,20680904	-7230.689761
96	8	0,62564840	-32045.3539	0,56403003	-14587.34478	0,36704622	-3204.49106	0,26115120	-3137.125501	0,17487979	-8150.261967
108	9	0,60242131	-31376.41374	0,54148887	-13938.15935	0,34049218	-2549.17485	0,23698874	-3833.004385	0,15046188	-8853.497785
120	10	0,58418818	-30861.29956	0,52379418	-13428.55252	0,32643040	-2034.75539	0,21802134	-4379.265315	0,1329396	-9405.533866
132	11	0,56957954	-30430.57088	0,50961696	-13020.24854	0,31211929	-1622.59547	0,20282441	-4816.937055	0,11593636	-9847.832372
144	12	0,55768193	-30087.91968	0,49807071	-12687.71631	0,30046399	-1286.92288	0,19044767	-5173.387068	0,10342878	-10208.05119
156	13	0,54786253	-29805.12098	0,48854129	-12413.26905	0,29084458	-1009.88379	0,18023284	-5467.574285	0,09310595	-10505.3486
168	14	0,53966901	-29589.14745	0,48058973	-12184.26414	0,28281792	-778.716199	0,17170935	-5713.050655	0,08449235	-10753.42018
180	15	0,53276938	-29370.43821	0,47389386	-11991.42307	0,27603682	-584.053974	0,16453187	-5919.762056	0,07723899	-10962.31697
192	16	0,52691448	-29201.8169	0,46821185	-11827.78138	0,27032316	-418.866884	0,15844118	-6095.173875	0,07108391	-11139.58326
204	17	0,52191359	-29057.79146	0,46335865	-11688.0092	0,26542412	-277.77473	0,15323891	-6244.999332	0,06582664	-11290.9927
216	18	0,51761831	-28934.08737	0,45919022	-11567.95827	0,26121632	-156.590062	0,14877066	-6373.685073	0,06131115	-11421.03893
228	19	0,51391140	-28827.32827	0,45592777	-11464.35191	0,25758491	-52.0052657	0,14491446	-6484.743445	0,05714149	-11533.27142
240	20	0,51069904	-28734.81226	0,45247528	-11374.56803	0,25443797	38.62651646	0,14157274	-6580.985141	0,05403713	-11630.5306
252	21	0,50790528	-28654.35217	0,44976403	-11296.48403	0,25170111	117.4479259	0,13866648	-6664.685428	0,05110015	-11715.11578
264	22	0,50546803	-28584.15923	0,44739875	-11228.36399	0,24931350	186.2112816	0,13613107	-6737.705089	0,04853794	-11788.90741
276	23	0,50333601	-28522.75715	0,44532969	-11168.7752	0,24722490	246.3628174	0,13391320	-6801.579876	0,04629661	-11853.4575
288	24	0,50146658	-28468.91753	0,44351547	-11116.52554	0,24539354	299.1059131	0,13196848	-6857.587657	0,04433134	-11910.0574
300	25	0,49982398	-28421.61077	0,44192138	-11070.61581	0,24378440	345.4492022	0,13025974	-6906.799497	0,04260453	-11959.78951

$$F = \frac{q^k * (q - 1)}{q^k - 1}$$

$$R = H \times Q_{ARR} \times (P^{C_{SISREH}_{ARR}} - P_{ARR} - CTI)$$

$$r = 12 \% \text{ a.a.}$$

Retorno de Investimento - Sem Aprov. da Água de Chuva

Fonte de Calor para Reativação			CASO I	CASO VI
			NA	Gases de Combustão
Descrição	Nom.	un.		
Capacidade do Sistema	CS	TR	10,8	10
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2880	2880
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	I _{FC}	US\$	NA	2920,00
Invest. Instalação de Água p/ o Resfr. Evap.	I _{RE}	US\$	NA	180,00
Invest. Instalação Elétrica	I _{EE}	US\$	750,00	600,00
Invest. Instalação Frigorígena	I _{FR}	US\$	1600,00	NA
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	2350,00	3700,00
Dutos, grelhas e difusores (insuf. e retorno)	I _{DT}	US\$	4500,00	4500,00
Bombas	I _{BB}	US\$	NA	117,68
Ventiladores	I _{VE}	US\$	NA	3556,50
Resfriadores Evaporativos	I _{RE}	US\$	NA	2000,00
Módulo Dessecante	I _{MD}	US\$	NA	37743,43
Unidades Condensadoras/Evaporadoras (R-22)	I _{CE}	US\$	6700,00	NA
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	11200,00	47917,61
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	13550,00	51617,61
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	C _{I_{FC}}	US\$/mês	NA	NA
		US\$/TRh	NA	NA
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	C _{I_{RE}}	US\$/mês	NA	5,07
		US\$/TRh	NA	0,00211250
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P _{INST}	kW	14,50	2,94
		C _{I_{EE}}	US\$/mês	261,00
		US\$/TRh	0,10	0,02
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,100694444	0,024162500
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	18,00	12,00
		US\$/TRh	0,006944444	0,005000000
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,10763889	0,02916250

$F = \frac{q^k * (q - 1)}{q^k - 1} \quad r = 12\% \text{ aa}$ $R = H \times Q_{ARR} \times (P^{CASOVI}_{ARR} - P_{ARR} - CTI)$		Fator anuidade		Custo Inv. (US\$/m ³ _{ARR})	Receita US\$/ano	Custo Inv. (US\$/m ³ _{ARR})	Receita US\$/ano
	K (meses)	F (1/ano)	K (anos)	CTI	R	CTI	R
	12	1	1	0,54327418	-20246	1,82144049	-50197,366
	24	0,471698	2	0,31312723	-13087,50943	0,87457664	-22927,68736
	36	0,296349	3	0,23673896	-10711,52869	0,56030225	-13876,58492
	48	0,209234	4	0,19878879	-9531,126612	0,40416877	-9379,940695
	60	0,15741	5	0,17621212	-8828,901868	0,31128450	-6704,873524
	72	0,123226	6	0,16132036	-8365,708485	0,25001724	-4940,376583
	84	0,099118	7	0,15081807	-8039,045321	0,20680904	-3695,980239
	96	0,081303	8	0,14305728	-7797,653501	0,17487979	-2776,418033
	108	0,067679	9	0,13712220	-7613,048943	0,15046188	-2073,182215
	120	0,056984	10	0,13246320	-7468,135424	0,13129396	-1521,146134
	132	0,048415	11	0,12873035	-7352,028728	0,11593636	-1078,847263
	144	0,041437	12	0,12569022	-7257,468743	0,10342878	-718,6288083
	156	0,035677	13	0,12318113	-7179,425994	0,09310595	-421,3314004
	168	0,030871	14	0,12108749	-7114,305385	0,08449235	-173,2598183
	180	0,026824	15	0,11932447	-7059,468447	0,07723899	35,63696669

Retorno de Investimento - Com Aprov. da Água de Chuva

Aproveitamento de água de chuva			CASO I	CASO VI
Fonte de Calor para Reativação			NA	sim
Descrição			NA	Gases de Combustão
Descrição	Nom.	un.		
Capacidade do Sistema	CS	TRh	10,8	10
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2880	2880
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	I _{FC}	US\$	NA	2920,00
Invest. Instal. de Cisterna (Aprov. Água Pluv.)	I _{AC}	US\$	NA	2476,00
Invest. Instalação Elétrica	I _{EE}	US\$	750,00	600,00
Invest. Instalação Frigorígena	I _{FR}	US\$	1600,00	NA
Investimento Total dos Insumos	ITI	US\$	2350,00	5996,00
Dutos, grelhas e difusores (insuf. e retorno)	I _{DT}	US\$	4500,00	4500,00
Bombas	I _{BB}	US\$	NA	117,68
Ventiladores	I _{VE}	US\$	NA	3556,50
Resfriadores Evaporativos	I _{RE}	US\$	NA	2000,00
Módulo Dessecante	I _{MD}	US\$	NA	37743,43
Unidades Condensadoras/Evaporadoras (R-22)	I _{CE}	US\$	6700,00	NA
Investimento Total de Equipamentos	ITE	US\$	11200	47917,606
Investimento Total de Implantação do Projeto	IPL	US\$	13550	53913,606
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	C _{FC}	US\$/mês	NA	NA
		US\$/TRh	NA	NA
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (Bomba da Cisterna)	P _{INST}	kW	NA	0,37
	C _{RE}	US\$/mês	NA	0,19
		US\$/TRh	NA	0,000078163
Custo da energia elétrica para bombas, ventiladores, compressores, etc (não inclui a energia consumida para a reativação)	P _{INST}	kW	14,50	2,94
	C _{EE}	US\$/mês	261,00	52,92
		US\$/TRh	0,100694444	0,022050000
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,100694444	0,022128163
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/mês	18,00	12,00
		US\$/TRh	0,006944444	0,005000000
Preço do Ar Resfriado	P_{ARR}	US\$/TRh	0,10763889	0,02712816

$F = \frac{q^K * (q - 1)}{q^K - 1} \quad r = 12\% \text{ aa}$ $R = H \times Q_{ARR} \times (P_{CASOII} - P_{ARR} - CTI)$	Fator anuidade		Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})		Receita (US\$/ano)		
	K (meses)	F (1/ano)	K (anos)	CTI	R	CTI	R
	12	1	1	0,54327418	-20246	1,89912837	-52376,1882
	24	0,47169811	2	0,31312723	-13087,50943	0,91014713	-23893,5284
	36	0,29634898	3	0,23673896	-10711,52869	0,58189352	-14439,8243
	48	0,20923444	4	0,19878879	-9531,126612	0,41881507	-9743,16512
	60	0,15740973	5	0,17621212	-8828,901868	0,32179921	-6949,10843
	72	0,12322572	6	0,16132036	-8365,708485	0,25780673	-5106,12499
	84	0,09911774	7	0,15081807	-8039,045321	0,21267658	-3806,37672
	96	0,08130284	8	0,14305728	-7797,653501	0,17932710	-2845,91152
	108	0,06767889	9	0,13712220	-7613,048943	0,15382306	-2111,3951
	120	0,05698416	10	0,13246320	-7468,135424	0,13380253	-1534,80393
	132	0,0484154	11	0,12873035	-7352,028728	0,11776181	-1072,83119
	144	0,04143681	12	0,12569022	-7257,468743	0,10469787	-696,589879
	156	0,0356772	13	0,12318113	-7179,425994	0,09391588	-386,0684
	168	0,03087125	14	0,12108749	-7114,305385	0,08491914	-126,962359
	180	0,02682424	15	0,11932447	-7059,468447	0,07734314	91,22635246

Retorno de Inv. para Fonte de Calor dos SISREAD's em comparação com o Caso II - Sem Aproveitamento da água de chuva

Fonte de Calor para Reativação		CASO II		CASO III		CASO IV		CASO V		CASO VI	
		Energia Elétr.		Gás Natural		Vapor		Condensado		Gases de Combustão	
Descrição	Nom.	un.									
Capacidade do Sistema	CS	TR	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Horas anuais de Funcionamento	H	h/ano	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Invest. Instal. de Insumos p/ Fonte de Calor	II _{FC}	US\$	NA	750,00	1200,00	1200,00	2300,00	2300,00	2920,00	2920,00	2920,00
Invest. Instalação de Água p/ o Restr. Evap.	II _{RE}	US\$	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00
Investimento Total das Instal. dos Insumos	ITI	US\$	180	930	1380	2480	2480	2480	3100	3100	3100
Custo dos Insumos para a Fonte de Calor	CI _{FC}	US\$/més	1098,90	980,84	485,03	197,39	197,39	197,39	NA	NA	NA
		US\$/TRh	0,457875000	0,400350000	0,202095833	0,082245833	0,082245833	0,082245833	NA	NA	NA
Custo da água para os Resfriadores Evaporativos (rede pública)	CI _{RE}	US\$/més	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07	5,07
		US\$/TRh	0,002112500	0,002112500	0,002112500	0,002112500	0,002112500	0,002112500	0,002112500	0,002112500	0,002112500
Custo da energia elétrica para bomba de condensado de vapor	P _{INST}	KW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		US\$/més	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		US\$/TRh	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo de Utilização dos Insumos	CUI	US\$/TRh	0,459987500	0,402462500	0,204208333	0,095533333	0,095533333	0,095533333	0,002112500	0,002112500	0,002112500
		US\$/més	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Custo Operacional dos Sistemas	CO	US\$/TRh	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000	0,005000000
		US\$/TRh	0,4649875	0,4074625	0,209208333	0,095533333	0,095533333	0,095533333	0,007112500	0,007112500	0,007112500

K (meses)	q ^K * (q-1) / (q ^K - 1)	CTI = (III * F) / (H * Q _{ARR}) + CUI + CO	q = 1 + r / 100 = 1 + 12 / 100 = 1,12	R = H * Q _{ARR} * (P ^{CASOII} _{ARR} - P _{ARR} - CTI)	CASO II		CASO III		CASO IV		CASO V		CASO VI		
					Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})	Receita US\$/ano	Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})	Receita US\$/ano	Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})	Receita US\$/ano	Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})	Receita US\$/ano	Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})	Receita US\$/ano	Custo Inv. (US\$/m³ _{ARR})
1	0,833333	0,54477811	-29081,24962	0,43712702	-29096,328	0,81971399	-21951,04305	0,82093636	-16276,5271	0,81971399	-21951,04305	0,82093636	-16276,5271	0,81971399	-21951,04305
2	0,166667	0,50432119	-27916,09031	0,43712702	-26948,63575	0,61068657	-15931,05327	0,51076663	-7343,63905	0,61068657	-15931,05327	0,51076663	-7343,63905	0,61068657	-15931,05327
3	0,25	0,49108594	-27534,91521	0,43712702	-26925,21175	0,54230446	-13961,64856	0,40929641	-4421,29657	0,54230446	-13961,64856	0,40929641	-4421,29657	0,54230446	-13961,64856
4	0,333333	0,48446862	-27344,33615	0,43712702	-26915,69892	0,50811493	-12976,99012	0,35856356	-2960,1905	0,50811493	-12976,99012	0,35856356	-2960,1905	0,50811493	-12976,99012
5	0,416667	0,48049846	-27229,99552	0,43712702	-26907,30725	0,48760244	-12386,23018	0,32812566	-2083,57897	0,48760244	-12386,23018	0,32812566	-2083,57897	0,48760244	-12386,23018
6	0,5	0,47785188	-27153,77409	0,43712702	-26903,725	0,47392845	-11992,41949	0,30783523	-1499,21472	0,47392845	-11992,41949	0,30783523	-1499,21472	0,47392845	-11992,41949
7	0,583333	0,47596163	-27099,33508	0,43712702	-26903,725	0,46416220	-11711,51222	0,29334337	-1081,84891	0,46416220	-11711,51222	0,29334337	-1081,84891	0,46416220	-11711,51222
8	0,666667	0,47454410	-27058,51006	0,43712702	-26903,725	0,45683826	-11500,22197	0,28247559	-768,857123	0,45683826	-11500,22197	0,28247559	-768,857123	0,45683826	-11500,22197
9	0,75	0,47344170	-27026,76104	0,43712702	-26903,725	0,45114255	-11336,1854	0,27402389	-525,448009	0,45114255	-11336,1854	0,27402389	-525,448009	0,45114255	-11336,1854
10	0,833333	0,47255990	-27001,36523	0,43712702	-26903,725	0,44658659	-11204,97369	0,26726343	-330,746765	0,44658659	-11204,97369	0,26726343	-330,746765	0,44658659	-11204,97369
11	0,916667	0,47183854	-26980,58992	0,43712702	-26903,725	0,44285954	-11097,63461	0,26173297	-171,469422	0,44285954	-11097,63461	0,26173297	-171,469422	0,44285954	-11097,63461
12	1	0,47123750	-26963,28	0,43712702	-26903,725	0,43975417	-11008,2	0,253712500	-38,76	0,43975417	-11008,2	0,253712500	-38,76	0,43975417	-11008,2
13	1,083333	0,47072902	-26948,63575	0,43712702	-26903,725	0,43712702	-10932,53806	0,252125000	-73,5205185	0,43712702	-10932,53806	0,252125000	-73,5205185	0,43712702	-10932,53806
14	1,166667	0,47029326	-26936,08597	0,43712702	-26903,725	0,43487561	-10867,69749	0,24988585	169,7275977	0,43487561	-10867,69749	0,24988585	169,7275977	0,43487561	-10867,69749
15	1,25	0,46991569	-26925,21175	0,43712702	-26903,725	0,43292479	-10811,51402	0,24699109	253,0966147	0,43292479	-10811,51402	0,24699109	253,0966147	0,43292479	-10811,51402
16	1,333333	0,46958538	-26915,69892	0,43712702	-26903,725	0,43121821	-10762,36444	0,24445874	326,0282462	0,43121821	-10762,36444	0,24445874	326,0282462	0,43121821	-10762,36444
17	1,416667	0,46929400	-26907,30725	0,43712702	-26903,725	0,42971276	-10719,00748	0,24222485	390,364388	0,42971276	-10719,00748	0,24222485	390,364388	0,42971276	-10719,00748
18	1,5	0,46903507	-26899,84987	0,43712702	-26899,84987	0,42837492	-10680,47769	0,24023967	447,5376261	0,42837492	-10680,47769	0,24023967	447,5376261	0,42837492	-10680,47769
19	1,583333	0,46880345	-26893,17927	0,43712702	-26893,17927	0,42717823	-10646,01288	0,23846393	498,6789494	0,42717823	-10646,01288	0,23846393	498,6789494	0,42717823	-10646,01288
20	1,666667	0,46859505	-26887,17742	0,43712702	-26887,17742	0,42610150	-10615,00331	0,23686621	544,6931495	0,42610150	-10615,00331	0,23686621	544,6931495	0,42610150	-10615,00331

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor.

Marco Antonio Medeiros dos Santos

Taubaté, agosto de 2005

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)