

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG

CLEBERSON DE SOUZA PEREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE GASES INCONDENSÁVEIS NA REDE DE
AMÔNIA EM UMA PLANTA DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL**

CASCADEL - PR

2017

CLEBERSON DE SOUZA PEREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE GASES INCONDENSÁVEIS NA REDE DE
AMÔNIA EM UMA PLANTA DE REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL**

Artigo apresentado ao curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em engenharia mecânica.

Professor orientador: Eliseu Avelino Zanella Junior

CASCADEL - PR

2017

"Bem-aventurados os pobres de espírito,
porque deles é o Reino dos Céus"
Jesus Cristo

AGRADECIMENTOS

Agradeço àquele que me deu o sopro da vida, Deus, o criador de todas as coisas, a razão do meu ser e do meu existir.

Agradeço a meus pais Ailton Pereira e Roseni de Souza Pereira por todo o apoio que me deram ao longo destes 5 anos de graduação, vocês podem não ter me ensinado a me tornar um engenheiro, mas me ensinaram como ser uma pessoa honesta e honrada ao longo de toda minha vida, sem vocês tudo seria muito mais difícil.

Agradeço a minha namorada Mariana Caroline Marcante, por toda a força que me concedeu ao longo dos últimos 4 anos, agradeço por me entender, por me cobrar e principalmente por me dar conforto nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Agradeço a meus amigos Jeferson Manenti Acorsi, Welington Douglas Koch e Renato Antonio Stormoski, por terem se tornado irmãos nesta longa caminhada de aprendizagem e conhecimento, a parceria de vocês fez até o mais difícil dos conteúdos se tornar fácil de ser solucionado.

Agradeço a meus professores, que ao longo desta etapa, puderam me ensinar, me cobrar, me criticar, me ouvir e participar junto comigo das muitas decisões e desafios desta caminhada. Não é à toa que o professor é a mais importante das profissões, desta forma os reconheço por todo o esforço que tiveram para que eu me tornasse um bom profissional, um ser questionador que nunca cessa o anseio pelo conhecimento.

Agradeço a todos que de alguma forma me ajudaram, ao longo destes 5 anos, aqueles que me ouviram, que me fizeram sorrir, que me ajudaram a solucionar meus problemas pessoais para que eu nunca desviasse do caminho, a todos os meus amigos, colegas, parceiros de trabalho, amigos da Pastoral da Juventude, e a toda a minha família.

Nós somos o reflexo das pessoas que convivemos, portanto, esta conquista, é também uma conquista de todos vocês.

Paz e Bem

RESUMO

A busca contínua por sistemas industriais mais eficientes, vem sendo o coração do desenvolvimento de novas tecnologias. O consumo energético com sistemas de refrigeração, aquecimento, ou climatização de ambientes, carrega grande parcela do consumo total dos mais variados processos produtivos ou até residenciais. Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a influência energética dos gases incondensáveis presentes no sistema de refrigeração por amônia em uma planta industrial. Primeiramente foi realizado uma modelagem matemática para facilitar a coleta dos dados de elevação de pressão pela presença de incondensáveis no sistema frigorífico. Foi utilizado o software EXCEL para expressar graficamente a curva da tabela termodinâmica do R717, e o software Unity Pro, para desenvolver a lógica de cálculos automáticos em função dos dados de pressão e temperaturas de condensação em um controlador lógico programável. Através dos dados reais coletados nos compressores de refrigeração calculou-se os valores de elevação de potência para cada parcela de elevação da pressão de condensação. Por um período de dois meses, foram coletados os dados de elevação de pressão por contaminantes na instalação e calculado a perda energética e monetária para os respectivos períodos. Por fim foram sugeridas ações de remoção e controle dos gases incondensáveis da planta industrial, bem como proposto ações de melhoria para o sistema atual de remoção.

Palavras Chave: Refrigeração industrial, Incondensáveis, Eficiência energética

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Pressão manométrica	18
Equação 2: Pressão de condensação ideal em função da temperatura.....	19
Equação 3: Elevação absoluta da pressão de condensação	20
Equação 4: Percentual de aumento de pressão	20
Equação 5: Cálculo do consumo ideal	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores termodinâmicos saturados para Amônia (R717).....	18
Tabela 2: Carga térmica de projeto do regime de alta pressão (-10 +35°C).....	23
Tabela 3: Carga térmica de projeto do regime de baixa pressão (-42 +35°C)	24
Tabela 4: Compressores de amônia	25
Tabela 5: Condensadores de amônia	25
Tabela 6: Variação consumo compressores	27
Tabela 7: Coleta de dados do mês de março	33
Tabela 8: Coleta de dados do mês de abril.....	34
Tabela 9: Resultados obtidos.....	35
Anexo 1: Propriedades de saturação da amônia	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama P-h de um ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor.....	10
Figura 2: Diagrama T-s de um ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor	10
Figura 3: Diferenças entre o ciclo teórico e o real de refrigeração.....	11
Figura 4: Diagrama T-s de um ciclo de refrigeração real por compressão de vapor.....	12
Figura 5: Presença de gases incondensáveis na rede de amônia	13
Figura 6: Pontos de acúmulo de gases incondensáveis na rede de amônia.....	13
Figura 7: Ilustração da lei de Dalton, aplicada ao sistema de refrigeração.....	14
Figura 8: Transdutor de pressão na saída do condensador evaporativo.....	17
Figura 9: Sensor de temperatura tipo Pt100	17
Figura 11: Curva pressão x temperatura para R717 (Amônia)	19
Figura 12: Modelagem matemática do CLP através do Unity Pro.....	20
Figura 13: Modelagem matemática do CLP através do Unity Pro.....	21
Figura 14: Modelagem matemática do CLP através do Unity Pro.....	22
Figura 15: Consumo da sala de máquinas Março de 2017.....	26
Figura 16: Consumo da sala de máquinas Abril de 2017	26
Figura 17: Consumo dos compressores de baixa para cada pressão de condensação	28
Figura 18: Variação percentual de consumo com um bar de aumento de pressão.....	28
Figura 19: Dados de entrada Cool Pack.....	29
Figura 20: Diagrama de mollier pressão de condensação =10,3bar	30
Figura 21: Dados de entrada cool pack (variando pressão de condensação)	31
Figura 22: Diagrama de Mollier para pressão de condensação =11,3bar	31
Figura 23: Gráfico pressão de condensação real x ideal.....	35
Figura 24: Extrator de ar	36
Figura 25: Esquema de instalação do purgador de ar	37
Figura 27: Exemplo de bomba de vácuo.....	39
Figura 28: Exemplo de detector ultrassônico de vazamento.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
1.1 OBJETIVOS	7
1.1.1 Objetivo Geral.....	7
1.1.2 Objetivos Específicos.....	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1 REFRIGERAÇÃO	8
2.2 REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL	8
2.3 CICLO TEÓRICO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR.....	9
2.4 CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR	11
2.5 CONTAMINAÇÃO POR AR NA REDE DE AMÔNIA (R717).....	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM MATEMÁTICA	16
3.2 DELIMITAÇÃO DA PLANTA INDUSTRIAL	22
3.3 CONSUMO ENERGÉTICO DA PLANTA INDUSTRIAL	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1 VARIAÇÃO REAL DO CONSUMO DOS COMPRESSORES	27
4.2 VARIAÇÃO TEÓRICA DO CONSUMO DOS COMPRESSORES	29
4.3 COLETA DE DADOS DE ELEVAÇÃO DE PRESSÃO	33
4.4 AÇÕES DE REMOÇÃO E CONTROLE DOS INCONDENSÁVEIS.....	36
5 CONCLUSÃO.....	40
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
ANEXO	44

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de energia elétrica do Brasil, expande-se cada vez mais a busca por equipamentos e sistemas com maior eficiência e rendimento, seja no setor comercial, residencial ou industrial. Segundo dado publicado pelo ministério de minas e energias entre 2014 e 2024 teremos um aumento de demanda na ordem de 3,9% ao ano, considerando toda a matriz energética brasileira.

Segundo Venturi (2005) o Brasil vivenciou uma grave crise de abastecimento no setor elétrico no ano de 2001. Duas consequências positivas sobressaíram deste episódio: a forte participação da sociedade na busca da solução; e a valorização da eficiência no uso de energia. Em decorrência desse processo involuntário de aprendizagem, vem se formando uma consciência de que a eficiência energética não pode estar vinculada apenas a questões conjunturais. Deve, sim, fazer parte, de forma definitiva, da política energética nacional, mediante a valorização das iniciativas já em andamento no país, o desenvolvimento de produtos e processos mais eficientes e a intensificação de programas que levem à mudança nos hábitos de consumo.

BEN (2016), afirma que o setor industrial é responsável pelo consumo da terça parte da matriz energética brasileira.

Paralelo a isso, o setor de refrigeração e climatização carrega grande fatia de toda a energia consumida no Brasil, nas residências com os refrigeradores e ar condicionados e na indústria com processos de resfriamento, congelamento e manutenção de alimentos, frutas, verduras e demais itens perecíveis. Onde 25% da produção de alimentos perecíveis no mundo é refrigerada e graças a esses processos de refrigeração podemos preservar o sabor, a textura e o valor nutricional dos alimentos, melhor do que qualquer outro método de conservação (GEORGE, 1993).

Ciente da importância e da grandeza dos processos de refrigeração para o consumo de energia de diversos setores, o estudo visa realizar a análise energética de uma planta de refrigeração industrial, através da influência da elevação de pressão de descarga dos compressores em virtude da presença de incondensáveis na instalação. O mesmo, torna-se importante, em virtude das grandes proporções energéticas dos sistemas de refrigeração e climatização, chegando a atingir a marca de até 60% da energia consumida em diversos frigoríficos e indústrias de transformação alimentícia. Desta forma, para cada pequena parcela de melhoria, temos um grande ganho no consumo final da planta industrial.

As perguntas que embasaram o desenvolvimento científico deste trabalho foram:

- Qual a proporção do aumento de pressão em virtude dos gases incondensáveis na rede de amônia em uma planta industrial com sistema de compressão a vapor que opera em dois regimes de simples estágio $-42 + 35^{\circ}\text{C}$ e $-10 + 35^{\circ}\text{C}$?
- Como realizar a medição destes valores de forma automática?
- Como definir as perdas em energia em virtude do aumento de pressão?

Desta forma, foi analisado o percentual de aumento de pressão provido por gases incondensáveis que por sua vez se misturam na rede de amônia onde opera-se com pressões abaixo da pressão atmosférica (temperaturas de evaporação abaixo de -34°C).

Segundo Danfoss (2014) para cada 1 bar de aumento da pressão de condensação temos um aumento de 9 a 10% no consumo de energia do sistema, desta forma a análise e remoção destes gases é fundamental.

O estudo, portanto, se limitou a definir qual o percentual de aumento de pressão, pela presença de incondensáveis na rede de amônia, em uma planta industrial. Desta forma, foi realizada uma modelagem matemática e executado a verificação automática dos dados, através de um CLP (controlador lógico programável). Após a verificação foi analisado o percentual médio de aumento de pressão, e com este resultado, realizado o cálculo teórico de qual é o consumo excedente de energia elétrica, bem como quanto será a redução no rendimento do ciclo.

O sistema de refrigeração tem como fluido refrigerante amônia (R717), utiliza compressor a vapor tipo parafuso, reservatório de líquido a baixa pressão, giro freezer de congelamento helicoidal, evaporadores para as câmaras de congelados, condensadores evaporativos, subresfriador de líquido (Subcooling), bombas de deslocamento positivo com rotor, além de inúmeras tubulações válvulas e demais componentes.

Possui ainda, uma carga térmica de projeto 6.892.500 kcal/h onde opera-se com dois regimes de simples estágio: $-10 + 35^{\circ}\text{C}$ e $-42 + 35^{\circ}\text{C}$.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência dos gases incondensáveis presentes na rede de amônia de uma planta de refrigeração industrial no consumo energético da mesma.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a modelagem matemática e automatizar a visualização dos dados de aumento de pressão de condensação ao longo do tempo;
- Expressar em valores percentuais a quantidade de energia gasta em virtude dos gases incondensáveis presentes no sistema;
- Expressar em valores monetários o prejuízo com a presença de incondensáveis na instalação;
- Propor ações de controle e remoção dos gases incondensáveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REFRIGERAÇÃO

Segundo Costa (1982), a refrigeração é o processo de transferência de calor no qual retiramos calor de um corpo e o transferimos para o meio externo. Cada processo deste gênero recebe uma definição específica:

- Arrefecimento: rebaixamento da temperatura de um corpo até sua temperatura ambiente (Temperatura de bulbo seco ou eventualmente bulbo úmido);
- Resfriamento: rebaixamento da temperatura de um corpo da temperatura ambiente até sua temperatura de congelamento ($\sim 0^{\circ}\text{C}$);
- Congelamento: rebaixamento da temperatura de um corpo aquém de sua temperatura de congelamento.

Conforme as considerações acima, utilizaremos o termo “refrigeração” para processos de congelamento e resfriamento (COSTA, 1982).

Segundo a definição de Macagnan (2015) pode-se definir refrigeração como o processo de alcançar e manter uma temperatura inferior àquela do meio, cujo objetivo é resfriar algum corpo (sólido) ou fluido até uma dada temperatura ou ainda, o processo de mover calor de um local para outro utilizando um refrigerante em um ciclo fechado.

Çengel e Boles (2013) definem a refrigeração como sendo um processo de transferência de calor da região com temperatura mais baixa para a região com temperatura mais alta. Afirma ainda que o ciclo de refrigeração mais utilizado é o de compressão de vapor no qual o refrigerante é vaporizado e condensado alternadamente, sendo comprimido na fase de vapor.

2.2 REFRIGERAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Stoecker (2002), a refrigeração industrial pode ser caracterizada pela faixa de temperatura de operação, podendo atingir entre -60 a -70°C no limite inferior e 15°C no limite superior. Pode ainda ser caracterizada através das aplicações, onde define-se como sendo o processo utilizado nas indústrias químicas, de alimentos e de processos envolvendo dois terços das aplicações e indústria manufatureira e laboratório.

Macagnan (2015), define a refrigeração industrial como sendo maior que a refrigeração comercial em proporções de instalação e afirma que quase sempre requer um operador de serviço.

Suas aplicações frequentes são: Indústria de alimentos armazenagem, transporte, manufatura ou tratamento térmico (pasteurização do leite); empacotamento de gêneros alimentícios carne, peixes, aves, alimentos congelados, etc.; cervejarias; refinarias de óleo; fábricas de produtos químicos remoção de calor em reações exotérmicas; fábricas de borracha; construção civil; metalurgia, etc. (MACAGNAN, 2015).

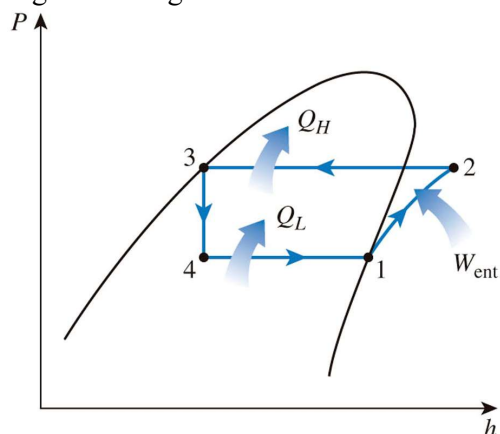
2.3 CICLO TEÓRICO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

Segundo Macagnan (2015) os sistemas de refrigeração por compressão mecânica de vapor predominam, em função de suas inegáveis qualidades, entre os demais métodos. O resfriamento é acompanhado pela ebulição de um refrigerante líquido sob pressões e temperaturas reduzidas. A temperatura de saturação do vapor é então elevada, através da compressão, permitindo que este vapor seja condensado através da rejeição de calor ao ambiente. O líquido a uma pressão relativamente alta é então expandido outra vez até o trocador de calor onde a ebulição ocorre. Desta maneira o sistema de refrigeração mecânica realiza um ciclo termodinâmico fechado.

Conforme Çengel e Boles (2013), o ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais usado para refrigeradores, sistemas de condicionamento de ar e bombas de calor, e em ciclos ideais consiste em quatro processos básicos:

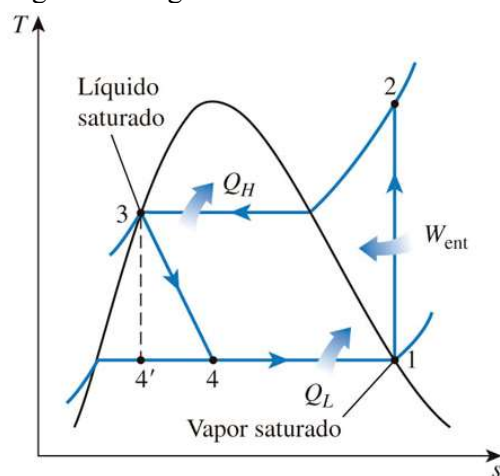
- Compressão isentrópica em um compressor;
- Rejeição de calor a pressão constante em um condensador;
- Estrangulamento em um dispositivo de expansão;
- Absorção de calor à pressão constante em um evaporador.

Figura 1: Diagrama P-h de um ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor



Fonte: Çengel e Boles (2013).

Figura 2: Diagrama T-s de um ciclo de refrigeração ideal por compressão de vapor



Fonte: Çengel e Boles (2013).

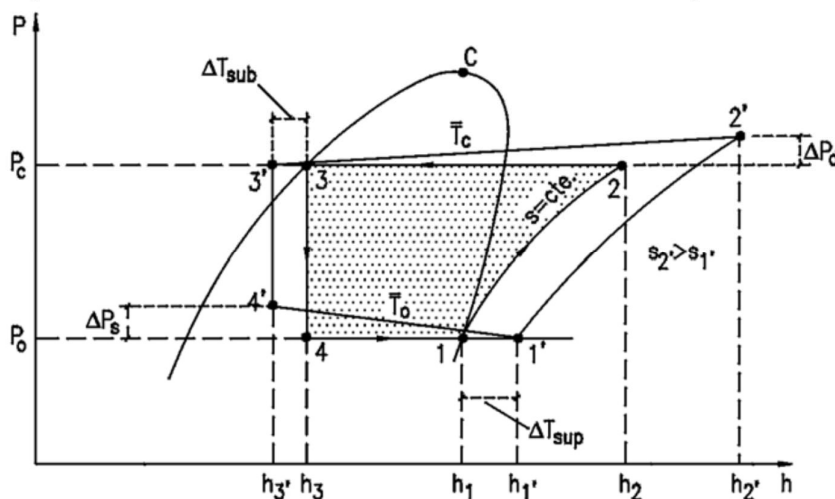
Em um ciclo de refrigeração ideal por compressão a vapor o refrigerante entra no compressor no estado 1 como vapor saturado e é comprimido de forma isentrópica até a pressão do condensador, ao sair do compressor sua temperatura aumenta de forma bem acentuada ao se comparar com a vizinhança. Em seguida o refrigerante entra no condensador como vapor superaquecido no estado 2 e sai como líquido saturado no estado 3, como resultado da rejeição de calor para a vizinhança. Após a condensação o fluido é estrangulado até a pressão de evaporação ao passar por uma válvula de expansão ou tubo capilar, neste processo a temperatura do mesmo cai até abaixo da temperatura do meio refrigerado. Por fim este mesmo refrigerante recebe calor do meio a ser mantido à baixa temperatura através do evaporador e retorna novamente ao compressor (ÇENGEL; BOLES, 2013).

2.4 CICLO REAL DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR

De acordo com Venturini e Pirani (2005) algumas das principais diferenças entre o ciclo ideal e o ciclo real de refrigeração são:

- Queda de pressão nas linhas de descarga (líquido e sucção), no condensador e no evaporador;
- Sub-resfriamento do refrigerante na saída do condensador;
- Superaquecimento do refrigerante na sucção do compressor;
- Ciclo de compressão politrópico e não mais isentrópico como no ciclo teórico.

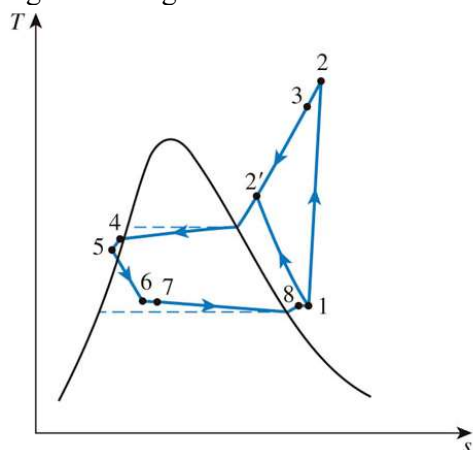
Figura 3: Diferenças entre o ciclo teórico e o real de refrigeração



Fonte: Venturini e Pirani (2005).

Çengel e Boles (2013) afirmam que um ciclo real de refrigeração por compressão de vapor difere do ciclo ideal de várias maneiras, principalmente devido às irreversibilidades que ocorrem nos diversos componentes, entre estes empecilhos, destacam-se o atrito no qual o fluido é submetido ao longo de todo o ciclo e o calor perdido para o meio nos mais variados processos.

Figura 4: Diagrama T-s de um ciclo de refrigeração real por compressão de vapor



Fonte: Çengel e Boles (2013).

2.5 CONTAMINAÇÃO POR AR NA REDE DE AMÔNIA (R717)

A contaminação do R717 é muito comum em sistemas de refrigeração industrial devido a necessidade frequente de temperaturas de evaporação abaixo de -33°C (pressão de saturação abaixo de 0 kgf/cm^2). Nessas condições, a rede de baixa pressão passa a trabalhar em vácuo, e onde tínhamos o vazamento de um determinado fluido refrigerante, agora temos a infiltração de ar atmosférico para dentro das tubulações.

Rahn (2006), afirma que o ar penetra nos sistemas frigoríficos através de juntas, selos gaxetas ou em alguma intervenção de manutenção, quando os componentes precisam ser abertos para realizar os devidos reparos. Como a manutenção em sistemas industriais é praticamente constante e permanente, em alguns casos, a infiltração de ar se agrava, tendo como pontos principais os separadores de óleo dos compressores de parafuso, separadores de líquido que passarão por exames internos, e demais vasos de pressão que possuem volumes consideráveis dentro da instalação.

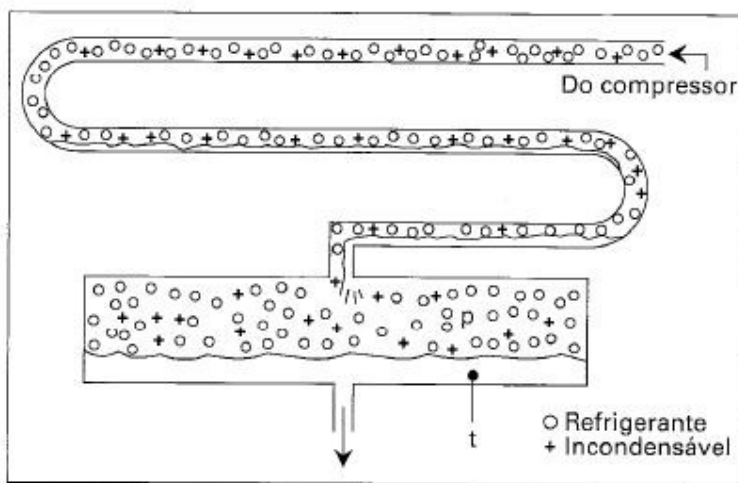
A forma mais correta para proceder após alguma intervenção, onde houve a entrada de ar na instalação é a realização de vácuo, com uma bomba específica para tal aplicação, removendo assim o ar que penetrou no componente ou setor da instalação, antes que o ar se misture com o resto do sistema.

De acordo com Stocker (2002), o ar externo que penetra na rede, prejudica o sistema em dois aspectos, o primeiro é a elevação da pressão de condensação do sistema, onde segundo a Lei de Dalton, a pressão total é igual a soma das pressões parciais dos diversos gases contidos, elevando o trabalho e a potência consumida pelo compressor. O segundo aspecto prejudicial, é

a redução do coeficiente de transferência de calor do condensador, em virtude da permanência do ar no sentido da superfície fria do tubo, imposta pelo gás incondensável.

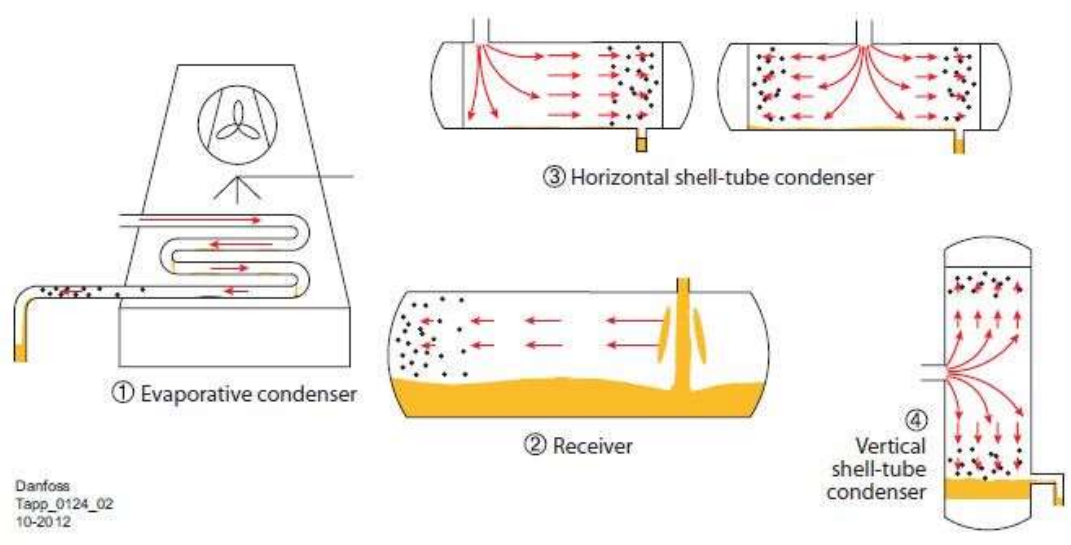
O ar admitido no sistema na região de baixa pressão, atinge a região do condensador onde se acumula, em virtude de o refrigerante líquido criar um selo a partir da saída do condensador, até o recipiente de líquido, impedindo que o ar penetre a outros pontos da instalação.

Figura 5: Presença de gases incondensáveis na rede de amônia



Fonte: Stocker (2002).

Figura 6: Pontos de acúmulo de gases incondensáveis na rede de amônia

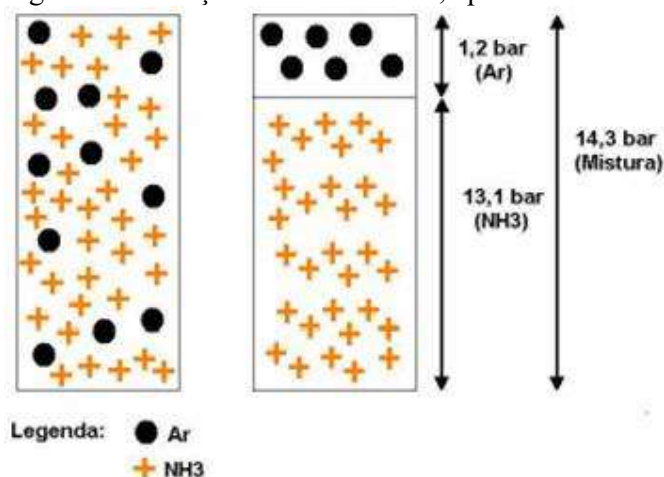


Fonte: Danfoss (2014).

A película que é formada no condensador, em virtude da presença dos gases incondensáveis, cria uma camada de isolante térmico, que por sua vez reduz a capacidade de transferência de calor do equipamento. Wanniarachchi e Webb (1982), afirmam em uma de suas pesquisas sobre o desempenho do sistema de refrigeração, que em um condensador de resfriador R-11 de 880 kW, 2% de não condensáveis em volume causam uma redução de 15% no coeficiente de transferência de calor do equipamento. Afirmam também que para, 3% e 8% de não condensáveis em volume causaram aumentos de potência de 2,6% e 5%, respectivamente, fatores que impactam diretamente no consumo energético da planta industrial

Segundo Danfoss (2014), para cada 1 bar de aumento da pressão de condensação temos um aumento de 9 a 10% no consumo de energia do sistema, isto acontece devido a pressão excessiva que é gerada no compressor, pela resultante das pressões parciais dos gases contidos no sistema, em nosso caso NH₃ + AR atmosféricos tornando assim expressivo e importante a remoção dos incondensáveis ou ainda a prevenção contra a entrada deles no sistema de refrigeração.

Figura 7: Ilustração da lei de Dalton, aplicada ao sistema de refrigeração



Fonte: Frio Plus Refrigeração (2015).

Além dos prejuízos mencionados acima, podemos citar também outras consequências que a presença de incondensáveis traz ao sistema de refrigeração:

- Aumento do consumo de óleo dos compressores: Devido ao aumento da pressão de descarga dos compressores, há também uma elevação da temperatura de

descarga, diminuindo com isso a viscosidade do óleo lubrificante, e elevando o arraste indesejado para o circuito;

- Aumento dos custos de manutenção: Este fato se dá em virtude de a pressão de condensação estar mais elevada, o que causa maior potência requerida do motor, e maior desgaste dos componentes mecânicos do compressor;
- Riscos à segurança dos operadores de refrigeração, em situações onde os gases incondensáveis ainda são purgadas de forma manual, ou semiautomática.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho foi dado com uma análise real de parâmetros de consumo de energia, cruzados com parâmetros percentuais de contaminação por ar na rede de amônia. Foi desenvolvido a modelagem matemática e a automação para coleta dos dados de consumo energético dos compressores e de contaminação na rede.

Utilizado os softwares Unity Pro para automatizar a coleta dos parâmetros de aumento de pressão, Excel para tratamento e armazenamento dos dados e Cool Pack para estimar a quantidade de energia perdida com a elevação das pressões.

O Unity Pro, é o software base da Schneider Eletric, para programação e controle dos CLPS (controladores lógicos programáveis), através dele, foram realizados os cálculos de percentual de contaminantes, utilizando as entradas de temperatura e pressão que já estavam disponíveis no software.

A utilização do Excel foi dada como um banco de dados, que fez o armazenamento dos dados provenientes da modelagem matemática desenvolvida.

Já o software Coll Pack foi usado para simular os dados termodinâmicos reais de trabalho da planta de refrigeração, sem a presença de incondensáveis e posteriormente com a presença deles, comparando os dados de consumo energético e aumento de potência.

3.1 DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM MATEMÁTICA

O ar externo que penetra na rede, prejudica o sistema em dois aspectos, o primeiro é a elevação da pressão de condensação do sistema, onde segundo a Lei de Dalton, a pressão total é igual a soma das pressões parciais dos diversos gases contidos, elevando o trabalho e a potência consumida pelo compressor. O segundo aspecto prejudicial, é a redução do coeficiente de transferência de calor do condensador, em virtude da permanência do ar no sentido da superfície fria do tubo, imposta pelo gás incondensável (STOCKER, 2002).

Um dos métodos para verificar se há gases incondensáveis na rede de amônia, é comparando a pressão real de condensação, com a pressão equivalente à temperatura de condensação.

A modelagem matemática para definir os índices de aumento de pressão, foi realizada seguindo este princípio, onde foram coletados dados de temperatura e pressão de condensação,

através de um transdutor de pressão e um sensor de temperatura tipo PT100 instalado na entrada do subresfriador, ponto que está interligado na saída dos condensadores evaporativos.

Figura 8: Transdutor de pressão na saída do condensador evaporativo



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Figura 9: Sensor de temperatura tipo Pt100



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Para o desenvolvimento do modelo matemático que soluciona o problema acima descrito, foi realizada a coleta dos dados de temperatura e pressão de saturação da amônia (R717) de 20 a 40°C, com intervalos de 0,1°C, através do software Cool Pack. Parte dos dados de pressão de condensação e temperatura, estão expressos na figura 10, e podem ser visualizados de forma completa no anexo 1.

Os dados de pressão expressos na tabela termodinâmica, se encontram em unidade absoluta de pressão. Para a realização da modelagem, foi convertido este valor para pressão manométrica, onde:

Equação 1: Pressão manométrica

$$P_{manométrica} = P_{absoluta} - 1$$

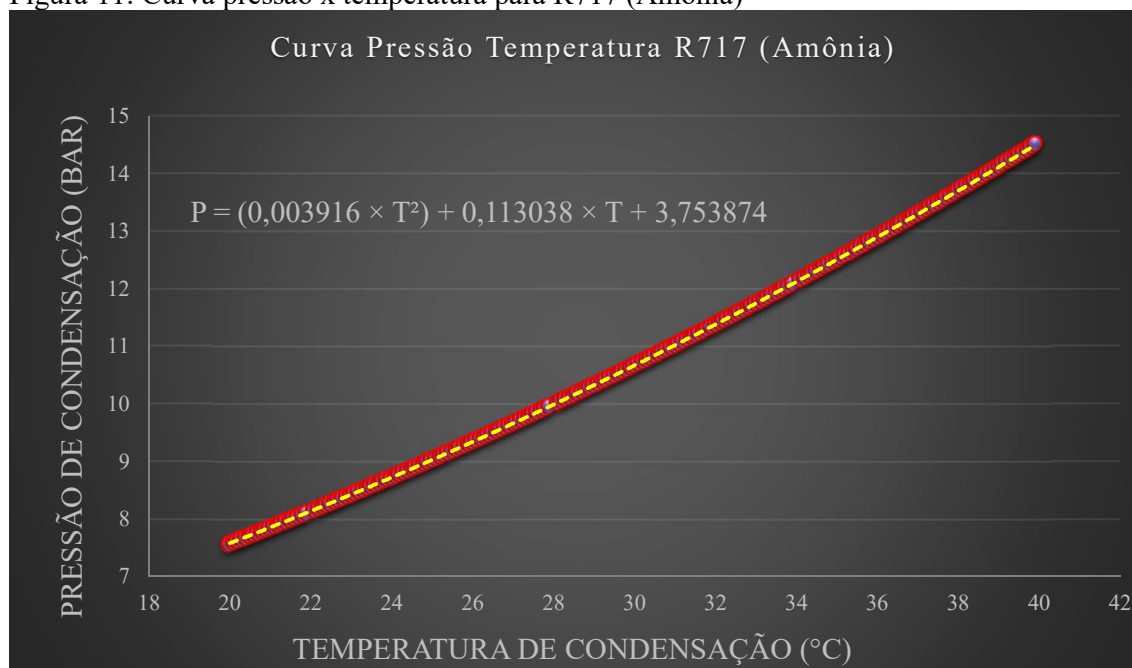
Tabela 1: Valores termodinâmicos saturados para Amônia (R717).

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
28,00	10,991	1,6714	0,11734	329,62	1484,03	1154,41	1,4479	5,2812
28,10	11,024	1,6719	0,11700	330,09	1484,09	1154,00	1,4494	5,2801
28,20	11,058	1,6723	0,11666	330,56	1484,15	1153,59	1,4509	5,2790
28,30	11,091	1,6727	0,11632	331,03	1484,20	1153,17	1,4525	5,2779
28,40	11,124	1,6731	0,11597	331,50	1484,26	1152,76	1,4540	5,2768
28,50	11,158	1,6736	0,11564	331,97	1484,32	1152,35	1,4556	5,2757
28,60	11,191	1,6740	0,11530	332,44	1484,38	1151,94	1,4571	5,2746
28,70	11,225	1,6744	0,11496	332,91	1484,43	1151,52	1,4587	5,2735
28,80	11,259	1,6749	0,11462	333,38	1484,49	1151,11	1,4602	5,2724
28,90	11,292	1,6753	0,11429	333,85	1484,55	1150,69	1,4617	5,2713
29,00	11,326	1,6757	0,11396	334,32	1484,60	1150,28	1,4633	5,2703

Cool Pack, (2002)

Os dados provenientes das tabelas de saturação da amônia foram transportados ao Excel, e através do dele, podemos expressar a pressão de saturação ideal em função da temperatura no figura 11:

Figura 11: Curva pressão x temperatura para R717 (Amônia)



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Através do gráfico, podemos, com o auxílio do Excel, definir a equação proveniente da curva, que é expressa em função da temperatura de condensação.

Equação 2: Pressão de condensação ideal em função da temperatura

$$P = (0,003916 \times T^2) + 0,113038 \times T + 3,753874$$

Onde:

P = Pressão de condensação ideal para qualquer temperatura de saída do condensador;

T = Temperatura de saída do condensador;

Da equação, podemos obter de forma matemática e precisa, a pressão de condensação ideal para inúmeras faixas de temperatura de condensação, eliminando a necessidade da busca em uma tabela para aquisição de tais dados.

Para definir, portanto, os níveis de aumento de pressão de descarga, causada pela presença de gases incondensáveis na instalação, precisamos comparar a pressão ideal adquirida pela equação, com a pressão real que o sistema trabalha no momento;

Equação 3: Elevação absoluta da pressão de condensação

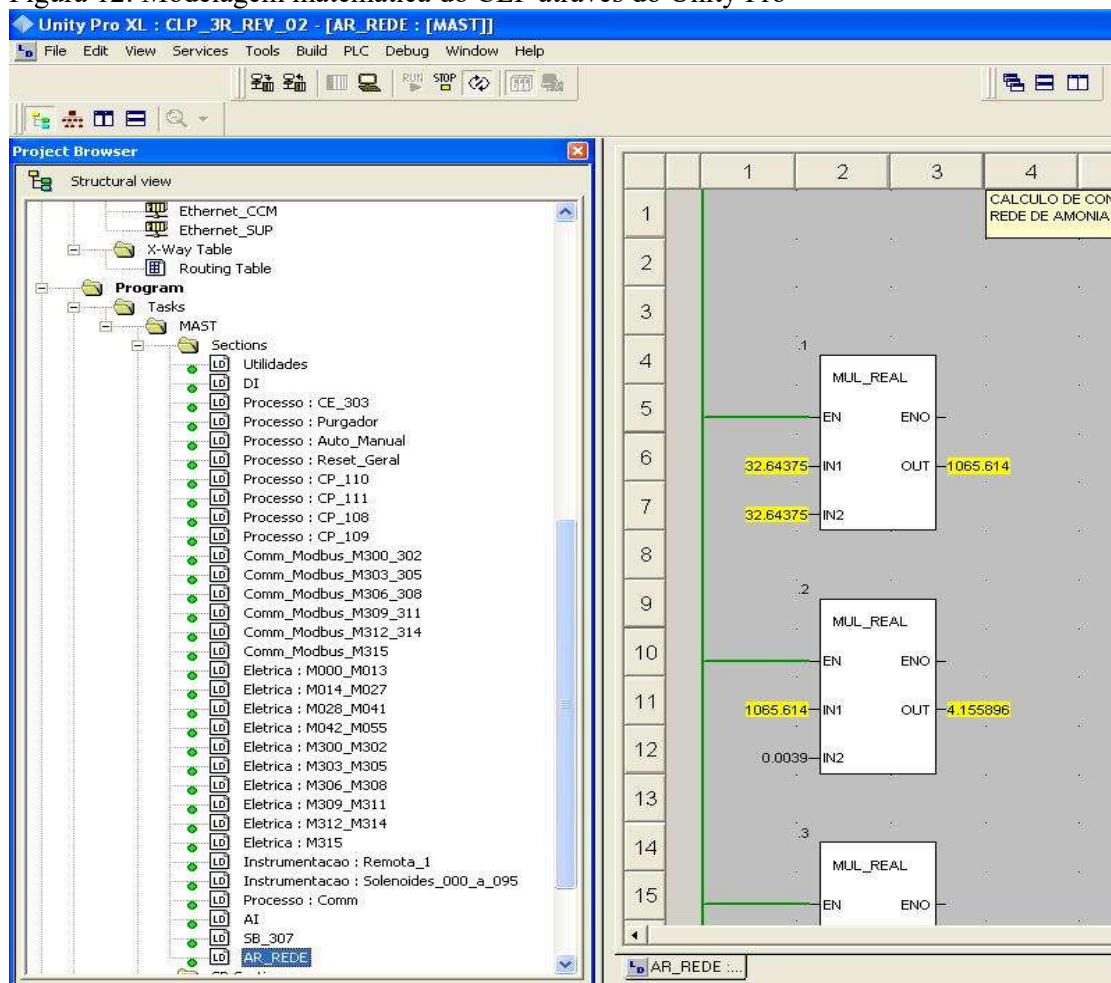
$$\Delta P = P_{real} - P_{ideal}$$

Equação 4: Percentual de aumento de pressão

$$\%Aumento = \frac{P_{real} - P_{ideal}}{P_{real}} = \frac{\Delta P}{P_{real}}$$

Com a equação 4 definida, foi realizado a modelagem matemática no Software Unity Pro, de autoria da Schneider Electric, e transferido os códigos de desenvolvimento para o CLP (Controlador lógico programável), afim de rodar o sistema de visualização dos dados de aumento de pressão na rede de amônia de forma precisa e automática.

Figura 12: Modelagem matemática do CLP através do Unity Pro

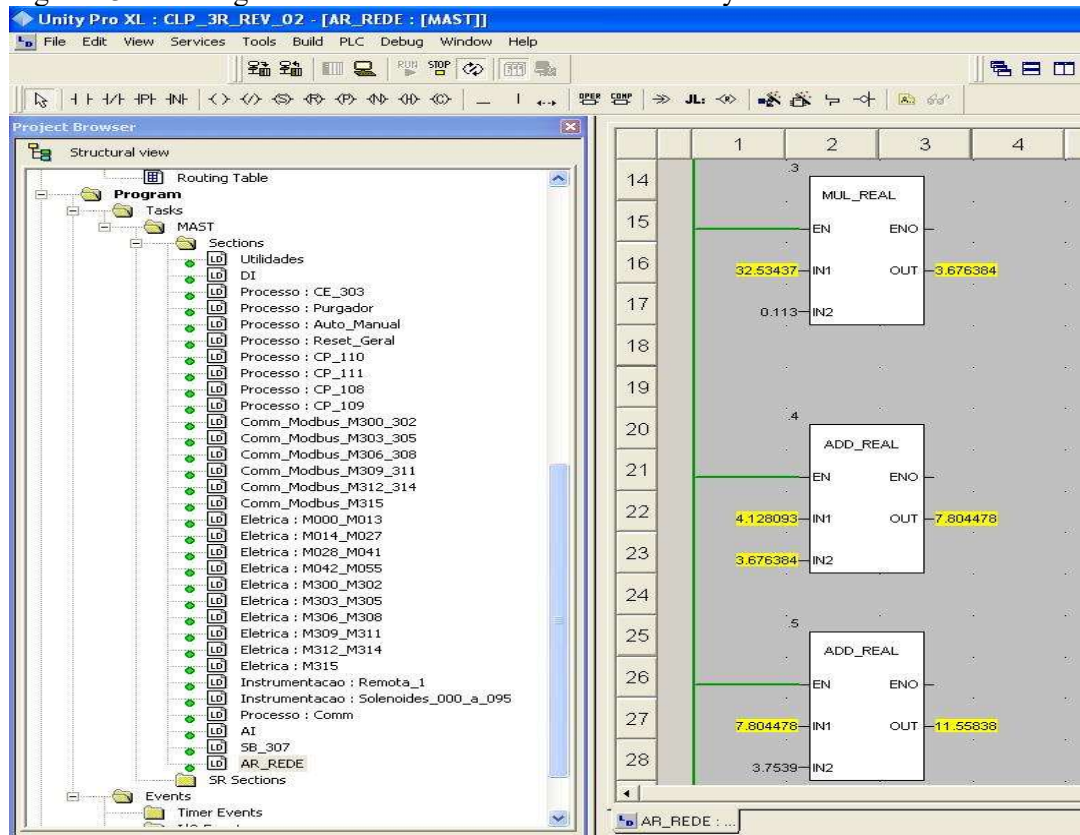


Fonte: Unity Pro XL V11.1 adaptado pelo autor (2017).

No primeiro bloco de lógica temos a multiplicação de números reais, onde as duas entradas são iguais, que estão sendo coletados diretos do sensor de temperatura na entrada do sub resfriador. Esta função assume a parte da equação representada pelo T^2 .

No segundo bloco o valor de T^2 é multiplicado pelo valor 0,003916, encerrando a primeira parte da equação.

Figura 13: Modelagem matemática do CLP através do Unity Pro



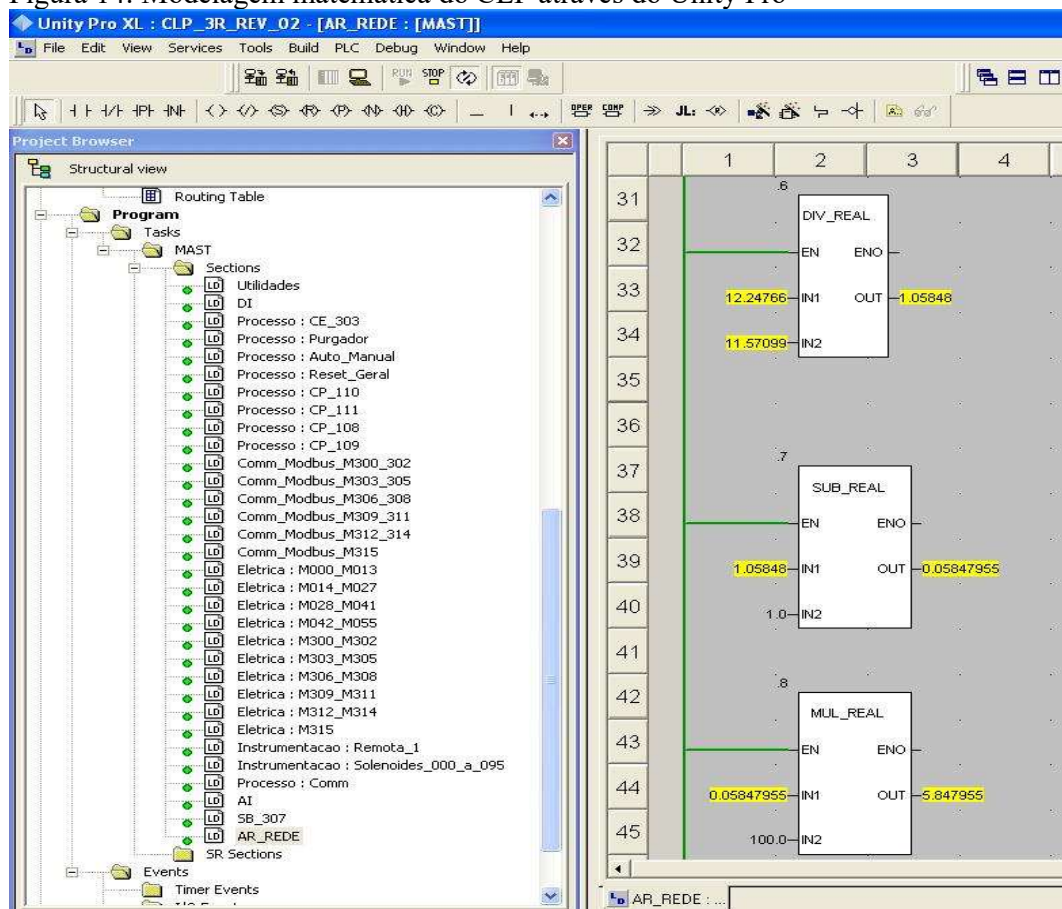
Fonte: Unity Pro XL V11.1 adaptado pelo autor (2017).

No bloco 3 o valor de T é multiplicado pelo valor 0,113 encerrando a segunda parte da equação.

Na terceira parte não temos expressões algébricas para resolver, apenas o número inteiro 3,753874.

Os blocos 4 e 5 são os responsáveis por realizar a soma das três parcelas anteriores da equação, a saída em 5, representa, portanto, a pressão de condensação ideal no qual o sistema de refrigeração deveria estar submetido, caso não houvesse a presença de incondensáveis ao longo do sistema.

Figura 14: Modelagem matemática do CLP através do Unity Pro



Fonte: Unity Pro XL V11.1 adaptado pelo autor (2017).

Nas duas entradas do bloco 6 possuímos os dois valores mais importantes para esta pesquisa, o valor real e o valor ideal de pressão de condensação do sistema.

Por fim, nos blocos 7 e 8 os cálculos para expressar em níveis percentuais, o aumento de pressão adquirido pela presença de incondensáveis na rede de amônia.

Obs. os dados expressos na saída do bloco 8, nunca podem ser comparados com percentuais volumétricos ou mássicos de ar na instalação, este dado apenas retrata o percentual de aumento de pressão causado por gases externos na instalação.

3.2 DELIMITAÇÃO DA PLANTA INDUSTRIAL

A planta industrial analisada, possui o sistema de refrigeração por compressão a vapor e opera com dois regimes de simples estágio de compressão, sendo o regime da alta pressão - 10 +35 °C e o regime da baixa pressão -42 +35°C.

Tabela 2: Carga térmica de projeto do regime de alta pressão (-10 +35°C)

Item	Descrição	Carga térmica (Kcal/h)
1	Antecâmara de expedição	30.000
2	Sala de expedição	30.000
3	Antecâmara de estocagem de produto acabado	30.000
4	Câmara de recebimento de embalagem	10.000
5	Antecâmara de material improdutivo 3	2.500
6	Câmara de material improdutivo 3	15.000
7	Antecâmara de material improdutivo área limpa 3	7.500
8	Antecâmara de recebimento de embalagem	10.000
9	Câmara de material improdutivo 1	20.000
10	Antecâmara de material improdutivo 1	7.500
11	Câmara de material improdutivo (Farinha)	7.500
12	Área dos tamblers L-04	20.000
13	Câmara de equalização	7.500
14	Área dos tamblers L-07	20.000
15	Câmara para resfriadores L-04	25.000
16	Sala para recebimento de insumos	25.000
17	Antecâmara de estocagem de containers	15.000
18	Antecâmara de estocagem de insumos	20.000
19	Câmara de recebimento	20.000
20	Câmara para resfriados suínos	20.000
21	Sala de recebimento L-07	20.000
22	Sala de recebimento	40.000
23	Câmara de resfriados L-07	20.000
24	Antecâmara de recebimento L-07	15.000
25	Câmara para margarina mezanino	10.000
26	Sala para recebimento de insumos mezanino	15.000
27	Sala de preparo de salmoura	50.000
28	Central de água gelada salmoura	160.000
29	Central de água gelado 01	2.287.000
30	Central de água gelada 02	1.900.000
Carga térmica total		4.859.500

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Tabela 3: Carga térmica de projeto do regime de baixa pressão (-42 +35°C)

Item	Descrição	Carga térmica (Kcal/h)
1	Câmara 01 para congelados L-03 MAC	10.000
2	Câmara 02 para congelados L-03 MAC	20.000
3	Câmara 02 para congelados L-05 e L-06	40.000
4	Câmara para L-05 tempura	10.000
5	Câmara para L-03 e L-04 tempura mezanino	15.000
6	Câmara 01 - estocagem de produtos acabados	75.000
7	Câmara 02 - estocagem de produtos acabados	75.000
8	Câmara pulmão	5.000
9	Giro freezer de congelamento L-03 (FMC)	442.000
10	Giro freezer de congelamento L-04 (FMC)	534.000
11	Giro freezer de congelamento L-05 (FMC)	442.000
12	Giro freezer de congelamento L-06 (FMC)	442.000
13	Giro freezer de congelamento L-06 (Cooling Freeze)	255.000
14	Giro freezer de congelamento L-07 (FMC)	442.000
TOTAL		2.807.000

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Com os dados de carga térmica dos ambientes a serem resfriados e/ou congelados, foi realizado o projeto da sala de máquinas que permanece até a data atual. Neste projeto estão dispostos os compressores em função dos regimes de trabalhos, conforme tabela abaixo

Tabela 4: Compressores de amônia

COMPRESSORES DE AMÔNIA DA PLANTA INDUSTRIAL									
Nº	MARCA	MODELO DO BLOCO	MODELO DA UNIDADE	ANO FAB.	CAPACIDADE Kcal/h	RPM	REGIME	POT. MOTOR (CV)	POT. MOTOR (kW)
101	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	282.000	3555	(-42°C/+35°C)	350	257,6
102	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	282.000	3555	(-42°C/+35°C)	350	257,6
103	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	282.000	3555	(-42°C/+35°C)	350	257,6
104	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	894.000	3570	(-10°C/+35°C)	500	368
105	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	894.000	3570	(-10°C/+35°C)	500	368
106	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2006	282.000	3562	(-42°C/+35°C)	350	257,6
107	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	282.000	3555	(-42°C/+35°C)	350	257,6
108	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	282.000	3555	(-42°C/+35°C)	350	257,6
109	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	282.000	3555	(-42°C/+35°C)	350	257,6
110	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2006	894.000	3567	(-10°C/+35°C)	500	368
111	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2006	894.000	3570	(-10°C/+35°C)	500	368
112	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	894.000	3570	(-10°C/+35°C)	500	368
113	MYCOM	N250VSD	N-250 VSD-E-TS	2008	894.000	3570	(-10°C/+35°C)	500	368
114	FRICK	SGC23130001BR	RWF 177	2005	286.046	3.570	(-42°C/+35°C)	350	257,6
115	FRICK	SGC23130002BR	RWF 177	2005	286.046	3.570	(-42°C/+35°C)	350	257,6
116	FRICK	SGC23130003BR	RWF 177	2005	286.046	3.570	(-42°C/+35°C)	350	257,6

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Somando-se os valores de potência instalada da sala de máquinas no qual refere-se apenas aos compressores temos o valor nominal do consumo por hora de trabalho :4.784 kW/h

Não menos importante que o item anterior, os condensadores instalados estão expressos na tabela abaixo:

Tabela 5: Condensadores de amônia

CONDESANDORES DE AMÔNIA DA PLANTA INDUSTRIAL						
Nº	Modelo	Marca	TBU	Capacidade Kcal/h	Nº ventiladores	Potência kW
CE-301	SCD-847	SEMCO	26°C	2.051.634	16	35
CE-302	SCD-847	SEMCO	26°C	2.051.634	16	35
CE-303	BAC VXC-1240	SEMCO	26°C	3.303.254	4	74
CE-304	BAC VXC-1240	SEMCO	26°C	3.303.254	4	74
CE-305	YCE-1067-06	YORK	26°C	697.386	1	18
CE-306	YCE-1067-06	YORK	26°C	697.386	1	18
SUBCOOLING			26°C	700.000	10	7
TOTAL	6		26°C	12.104.548	42	262

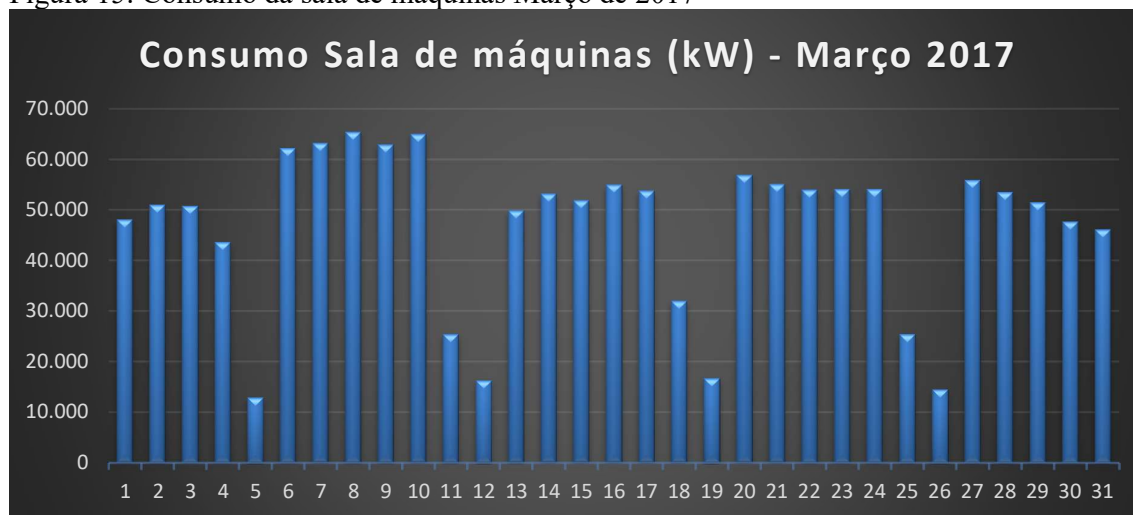
Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Com os dados das tabelas acima tem-se o consumo estimado da sala de máquinas em carga plena ou em carga parcial de acordo com a demanda do processo produtivo.

3.3 CONSUMO ENERGÉTICO DA PLANTA INDUSTRIAL

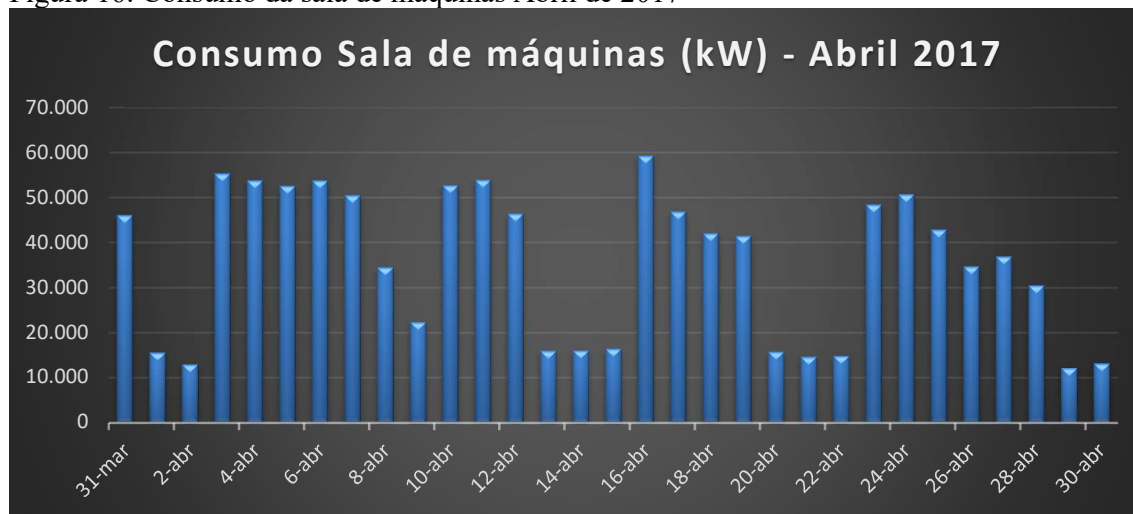
O consumo energético da planta industrial analisada sofre influência de muitas variáveis ao longo do processo, entretanto o consumo médio da sala de máquinas (compressores + condensadores), indicado no medidor de energia permanece razoavelmente constante em dias de produção e em dias ociosos.

Figura 15: Consumo da sala de máquinas Março de 2017



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Figura 16: Consumo da sala de máquinas Abril de 2017



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VARIAÇÃO REAL DO CONSUMO DOS COMPRESSORES

Em um dia normal de operação da sala de máquinas, foi coletado os dados de consumo dos compressores em função da variação da pressão de condensação. Esta variação é normal ao longo do dia, conforme a temperatura ambiente vai se elevando. A pressão de condensação é a mesma para todos os compressores porque eles estão ligados em paralelo. Já a corrente e a potência foram obtidas através da IHM de operação de cada unidade compressora.

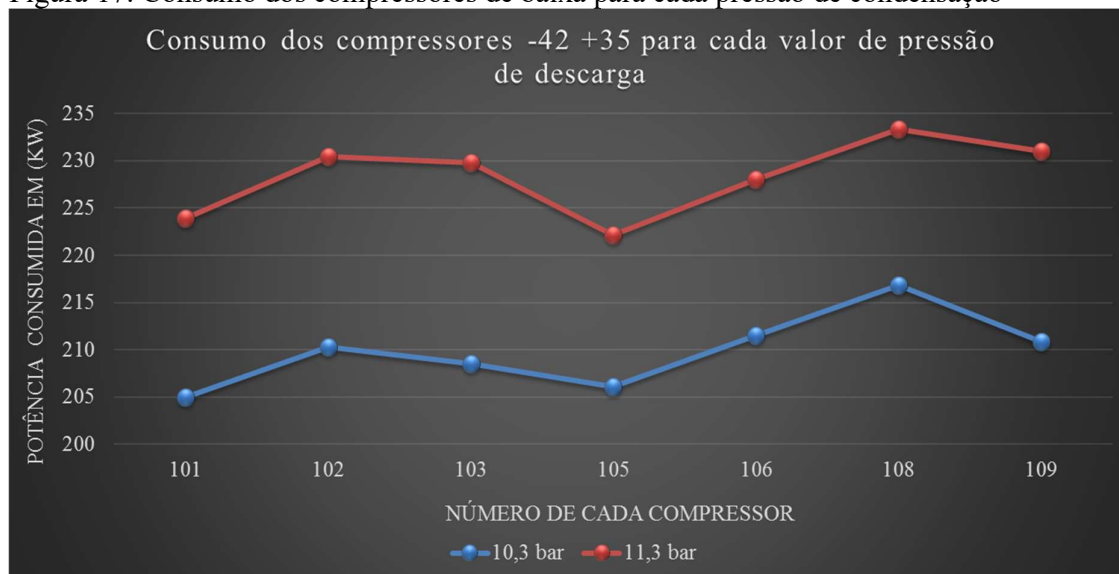
Tabela 6: Variação consumo compressores

Hora: 08:50			Hora: 09:50		
Pressão de condensação: 10,3 Bar			Pressão de condensação: 10,5 Bar		
% de elevação de pressão: 4,1 %			% de elevação de pressão: 5,6 %		
Compressor	Corrente (A)	Potência (kW)	Compressor	Corrente (A)	Potência (kW)
101	346	204,96	101	349	206,73
102	355	210,29	102	358	212,07
103	352	208,51	103	355	210,29
105	348	206,14	105	352	208,51
106	357	211,47	106	356	210,88
108	366	216,80	108	365	216,21
109	356	210,88	109	359	212,66
110	533	315,73	110	538	318,69
Hora: 10:50			Hora: 11:50		
Pressão de condensação: 10,7 Bar			Pressão de condensação: 11,3 Bar		
% de elevação de pressão: 4,7 %			% de elevação de pressão: 5,3 %		
Compressor	Corrente (A)	Potência (kW)	Compressor	Corrente (A)	Potência (kW)
101	365	216,21	101	378	223,91
102	373	220,95	102	389	230,43
103	372	220,36	103	388	229,84
105	366	216,80	105	375	222,14
106	375	222,14	106	385	228,06
108	385	228,06	108	394	233,39
109	377	223,32	109	390	231,02
110	571	338,24	110	571	338,24

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Os valores da primeira e da última medição possuem um diferencial de pressão de condensação de exatamente 1 bar (11,3 e 10,3). E com esta variação, foi calculado o aumento de potência consumida para cada compressor.

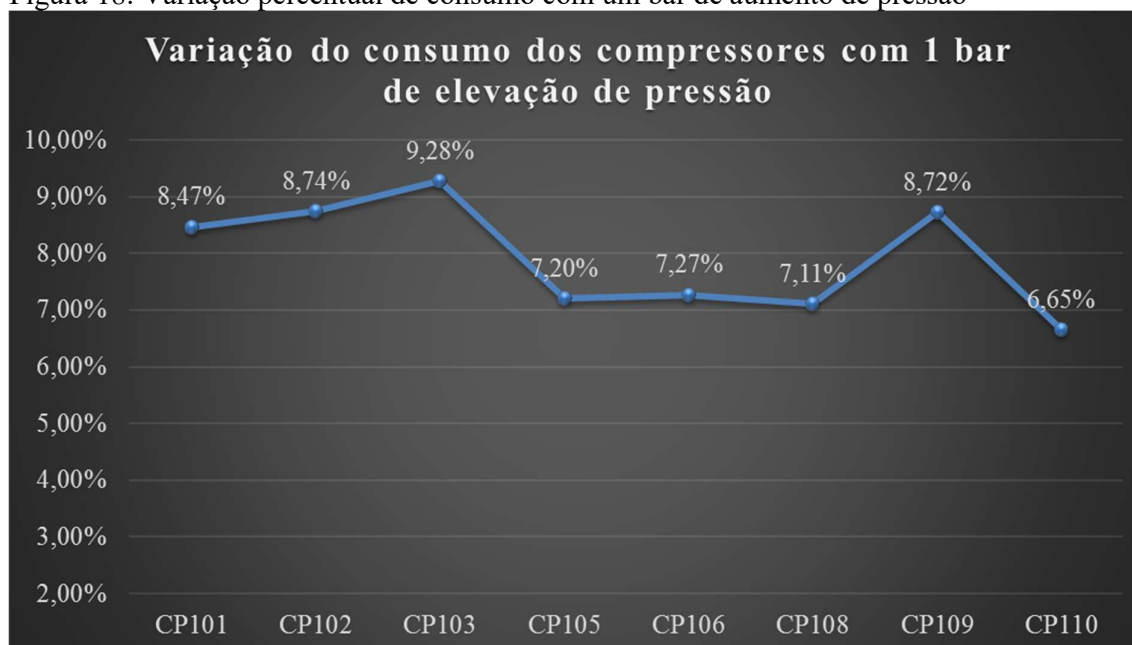
Figura 17: Consumo dos compressores de baixa para cada pressão de condensação



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Na ocasião das medições, o consumo do compressor 110 (compressor de alta), foi de 315,72 kW e 338,23 kW para os valores de pressão de 10,3 e 11,3 Bar, respectivamente.

Figura 18: Variação percentual de consumo com um bar de aumento de pressão



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Para os valores do gráfico acima, o valor médio de elevação da potência consumida pelos compressores em operação no dia das medições foi de 7,93%, valores que se aproximam do valor médio definido pela literatura, onde, para cada 1 bar de elevação de pressão temos um aumento de 9 a 10% na potência dos compressores.

4.2 VARIAÇÃO TEÓRICA DO CONSUMO DOS COMPRESSORES

Para a determinação da variação teórica da potência consumida pelos compressores foi realizado as leituras de pressão e temperatura de sucção e descarga, potência consumida pelo compressor e calculado os valores que cada compressor (um de cada estágio de compressão) consegue remover de calor do sistema, de acordo com a tabela 4.

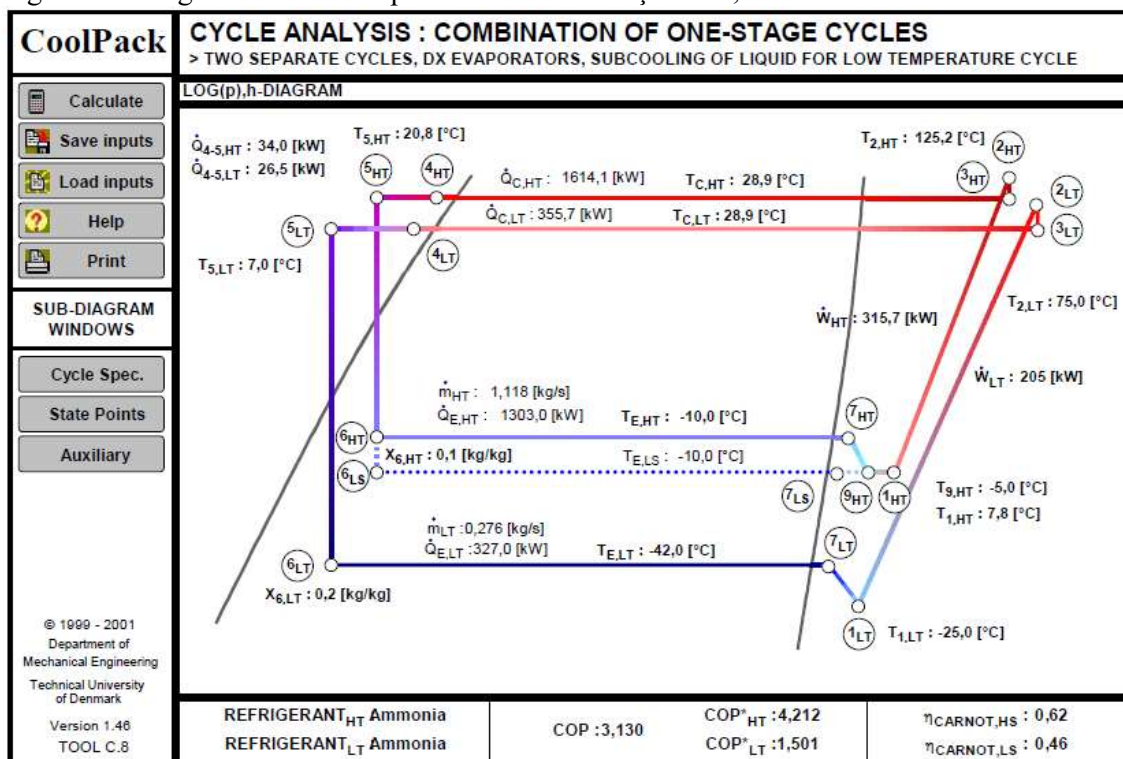
Os dados levantados foram inseridos no software cool pack e através dele, definido qual era a eficiência isentrópica de cada compressor. Para tais resultados foram usados os compressores 101 (-42 +35) e 110(-10 +35). Na primeira alimentação de dados, temos a pressão de condensação em 10,3 bar (relativa) que representa 11,3 em valores absolutos, e 28,9°C que é a temperatura equivalente para o valor dado de pressão.

Figura 19: Dados de entrada Cool Pack

CYCLE SPECIFICATION									
TEMPERATURE LEVELS				LIQUID SUBCOOLER		PRESSURE LOSSES			
$T_{E,HT}$ [°C] : -10,0	$\Delta T_{SH,HT}$ [K] : 5,0	$T_{S,LT}$ [°C] : 7,0		$\Delta T_{SH,LS}$ [K] : 7,0		$\Delta p_{SL,HT}$ [K] : 0,00	$\Delta p_{SL,LT}$ [K] : 0,00		
$T_{E,LT}$ [°C] : -42,0	$\Delta T_{SH,LT}$ [K] : 5,0					$\Delta p_{DL,HT}$ [K] : 0,00	$\Delta p_{DL,LT}$ [K] : 0,00		
$T_{C,HT}$ [°C] : 28,9	$\Delta T_{SC,HT}$ [K] : 2,0	SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (HT)				REFRIGERANTS			
$T_{C,LT}$ [°C] : 28,9	$\Delta T_{SC,HT}$ [K] : 2,0	Thermal efficiency η_T [-] : 0,4				HT : R717 LT : R717			
CYCLE CAPACITY									
HT : Cooling Capacity $\dot{Q}_{E,HT}$ [kW]		1303		$\dot{Q}_{E,HT}$: 1303,0 [kW]		$\dot{m}_{HT}$: 1,140 [kg/s]		$\dot{V}_{S,HT}$: 1857 [m ³ /h]	
LT : Cooling Capacity $\dot{Q}_{E,LT}$ [kW]		327		$\dot{Q}_{E,LT}$: 327,0 [kW]		$\dot{m}_{LT}$: 0,276 [kg/s]		$\dot{V}_{S,LT}$: 1848,2 [m ³ /h]	
COMPRESSOR PERFORMANCE									
HT : Power consumption $\dot{W}_{HT}$ [kW]		315,7		$\eta_{IS,HT}$: 0,756 [-]		$\dot{W}_{HT}$: 315,7 [kW]		$\dot{W}_{TOT}$: 520,7 [kW]	
LT : Power consumption $\dot{W}_{LT}$ [kW]		205		$\eta_{IS,LT}$: 0,651 [-]		$\dot{W}_{LT}$: 205 [kW]			
COMPRESSOR HEAT LOSS									
HT : Discharge temperature $T_{2,HT}$ [°C]		75		$f_{Q,HT}$: 10,0 [%]		$T_{2,HT}$: 125,2 [°C]		$\dot{Q}_{LOSS,HT}$: 31,6 [kW]	
LT : Discharge temperature $T_{2,LT}$ [°C]		75		$f_{Q,LT}$: 76,5 [%]		$T_{2,LT}$: 75,0 [°C]		$\dot{Q}_{LOSS,LT}$: 156,9 [kW]	
SUCTION LINES									
HT : Unuseful Superheat $\Delta T_{SH,SL,HT}$ [K]		0,0		$\dot{Q}_{SL,HT}$: 0 [W]		$T_{8,HT}$: -5,0 [°C]		$\Delta T_{SH,SL,HT}$: 0,0 [K]	
LT : Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL,LT}$ [K]		12,0		$\dot{Q}_{SL,LT}$: 7086 [W]		$T_{1,LT}$: -25,0 [°C]		$\Delta T_{SH,SL,LT}$: 12,0 [K]	
Calculate Print Help Auxiliary State Points COP : 3,130 COP[*]_{HT} : 4,212 COP[*]_{LT} : 1,501									

Fonte: Cool Pack (2017).

Figura 20: Diagrama de mollier pressão de condensação =10,3bar



Fonte: Cool Pack (2017).

Com os valores de potência mensurados através do compressor, sendo 315,7 e 205kW, para os regimes de alta e baixa pressão, respectivamente, definiu-se os valores de eficiência isentrópicas para cada regime, sendo 0,75 para a alta e 0,65 para baixa pressão.

Desta forma foi mantido os valores de eficiência, alterado o valor de pressão de condensação para 11,3 e obtido os novos valores de potência dos compressores.

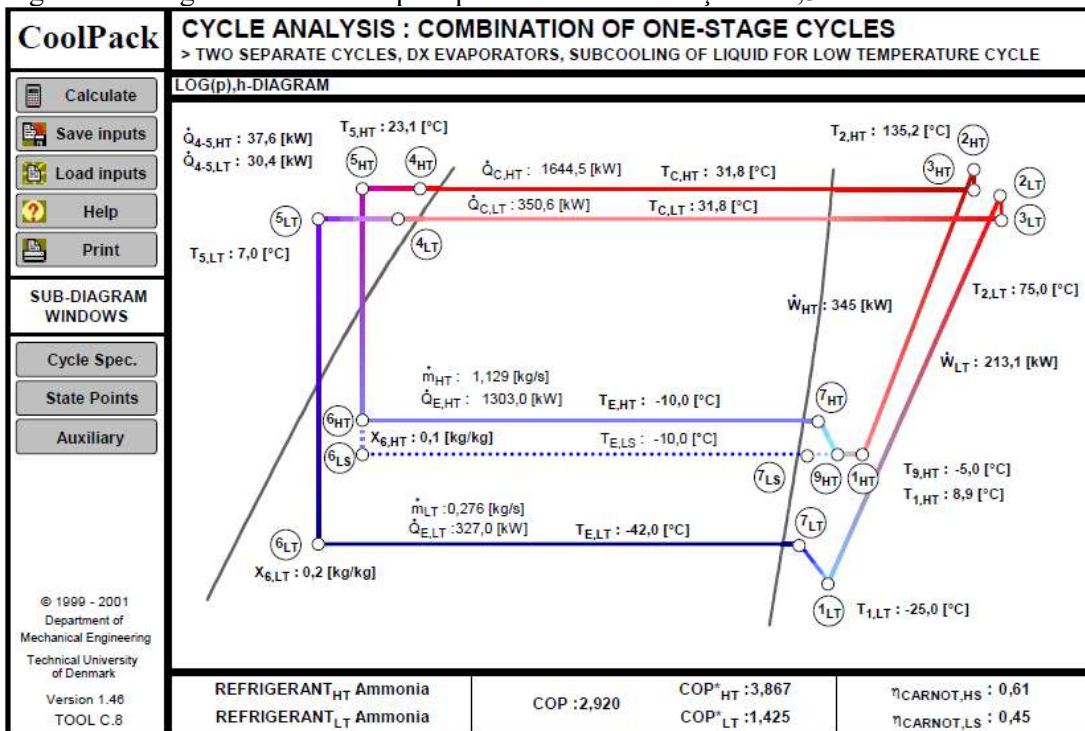
Figura 21: Dados de entrada cool pack (variando pressão de condensação)

CYCLE SPECIFICATION									
TEMPERATURE LEVELS				LIQUID SUBCOOLER		PRESSURE LOSSES			
$T_{E,HT}$ [°C] : -10,0	$\Delta T_{SH,HT}$ [K] : 5,0	$T_{5,LT}$ [°C] : 7,0		$\Delta T_{SH,LS}$ [K] : 7,0		$\Delta P_{SL,HT}$ [K] : 0,00	$\Delta P_{SL,LT}$ [K] : 0,00		
$T_{E,LT}$ [°C] : -42,0	$\Delta T_{SH,LT}$ [K] : 5,0					$\Delta P_{DL,HT}$ [K] : 0,00	$\Delta P_{DL,LT}$ [K] : 0,00		
$T_{C,HT}$ [°C] : 31,8	$\Delta T_{SC,HT}$ [K] : 2,0	SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (HT)				REFRIGERANTS			
$T_{C,LT}$ [°C] : 31,8	$\Delta T_{SC,HT}$ [K] : 2,0	Thermal efficiency η_T [-] : 0,4				HT : R717 LT : R717			
CYCLE CAPACITY									
HT : Cooling Capacity $\dot{Q}_{E,HT}$ [kW]		1303		$\dot{Q}_{E,HT}$: 1303,0 [kW]		$\dot{m}_{HT}$: 1,155 [kg/s]		$\dot{V}_{S,HT}$: 1890 [m ³ /h]	
LT : Cooling Capacity $\dot{Q}_{E,LT}$ [kW]		327		$\dot{Q}_{E,LT}$: 327,0 [kW]		$\dot{m}_{LT}$: 0,276 [kg/s]		$\dot{V}_{S,LT}$: 1848,5 [m ³ /h]	
COMPRESSOR PERFORMANCE									
HT : Isentropic efficiency η_{IS} [-]		0,756		$\eta_{IS,HT}$: 0,756 [-]		$\dot{W}_{HT}$: 345 [kW]		$\dot{W}_{TOT}$: 558,1 [kW]	
LT : Isentropic efficiency η_{IS} [-]		0,651		$\eta_{IS,LT}$: 0,651 [-]		$\dot{W}_{LT}$: 213,1 [kW]			
COMPRESSOR HEAT LOSS									
HT : Heat loss factor f_Q [%]		10		$f_{Q,HT}$: 10,0 [%]		$T_{2,HT}$: 135,2 [°C]		$\dot{Q}_{LOSS,HT}$: 34,5 [kW]	
LT : Discharge temperature $T_{2,LT}$ [°C]		75		$f_{Q,LT}$: 78,0 [%]		$T_{2,LT}$: 75,0 [°C]		$\dot{Q}_{LOSS,LT}$: 166,2 [kW]	
SUCTION LINES									
HT : Unuseful Superheat $\Delta T_{SH,SL,HT}$ [K]		0,0		$\dot{Q}_{SL,HT}$: 0 [W]		$T_{8,HT}$: -5,0 [°C]		$\Delta T_{SH,SL,HT}$: 0,0 [K]	
LT : Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL,LT}$ [K]		12,0		$\dot{Q}_{SL,LT}$: 7087 [W]		$T_{1,LT}$: -25,0 [°C]		$\Delta T_{SH,SL,LT}$: 12,0 [K]	

Calculate Print Help Auxiliary State Points COP : 2,920 COP^{*}_{HT} : 3,867 COP^{*}_{LT} : 1,425

Fonte: Cool Pack (2017).

Figura 22: Diagrama de Mollier para pressão de condensação = 11,3bar



Fonte: Cool Pack (2017).

Os novos valores de potência consumida pelo compressor, para uma pressão de 11,3bar são 245kW no regime de alta e 213kW no regime de baixa pressão, totalizando uma variação de 8,49% para a alta e 4% para a baixa ao ser comparado com a pressão de 10,3 bar.

Como a análise teórica depende de muitas variáveis de entrada as estimativas de dados de saída podem não obter a melhor exatidão que o software tem a oferecer.

4.3 COLETA DE DADOS DE ELEVAÇÃO DE PRESSÃO

Em concordância com a modelagem matemática realizada, foi efetuado a coleta dos dados de pressão de condensação e percentual de aumento de pressão da instalação (% de ar na rede), estes valores foram armazenados em uma tabela do EXCEL através da anotação diária dos dados, pelo operador da sala de máquinas, e obtido os seguintes resultados:

Tabela 7: Coleta de dados do mês de março

Data	Pressão de condensação média (Bar)	Percentual de elevação de pressão	Pressão de condensação ideal (Bar)
01/03/2017	11,87	4,82%	11,30
02/03/2017	11,60	6,35%	10,86
03/03/2017	11,60	4,95%	11,03
04/03/2017	11,68	5,20%	11,07
05/03/2017	11,60	4,50%	11,08
06/03/2017	12,55	5,03%	11,92
07/03/2017	12,40	3,88%	11,92
08/03/2017	12,70	3,50%	12,26
09/03/2017	12,20	4,70%	11,63
10/03/2017	12,05	4,10%	11,56
11/03/2017	10,90	13,00%	9,48
13/03/2017	13,20	12,00%	11,62
16/03/2017	11,30	1,70%	11,11
17/03/2017	10,98	3,70%	10,57
18/03/2017	10,43	3,63%	10,05
20/03/2017	11,05	6,10%	10,38
21/03/2017	10,55	6,50%	9,86
22/03/2017	10,83	7,13%	10,06
23/03/2017	11,00	7,00%	10,23
24/03/2017	11,27	7,20%	10,46
25/03/2017	10,30	4,70%	9,82
27/03/2017	11,40	4,47%	10,89
28/03/2017	11,10	5,20%	10,52
29/03/2017	10,90	4,00%	10,46
30/03/2017	9,90	2,90%	9,61
31/03/2017	10,00	2,65%	9,74

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

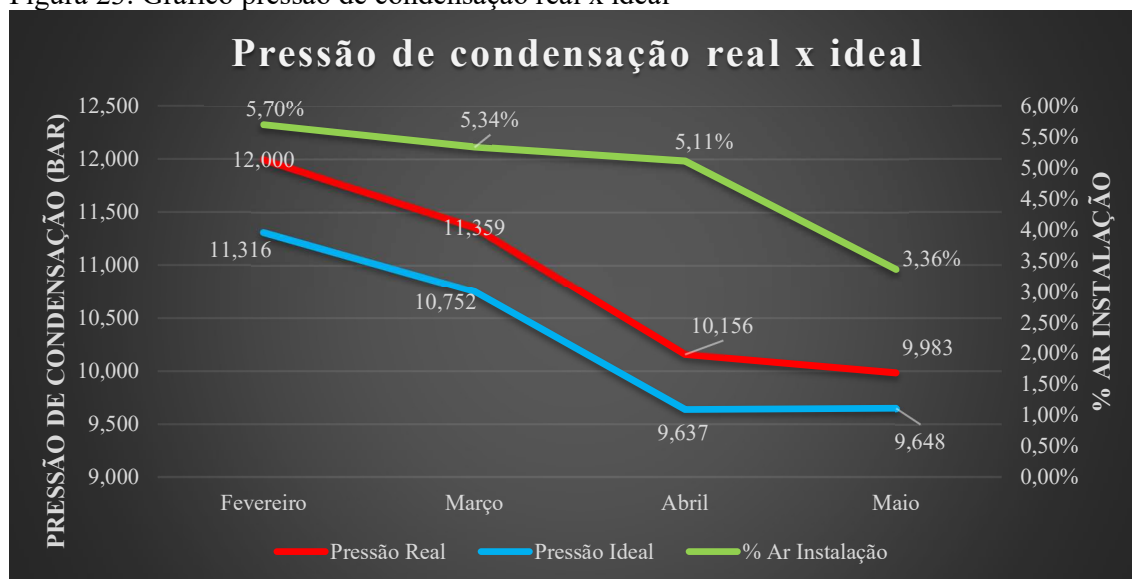
Tabela 8: Coleta de dados do mês de abril

Data	Pressão de condensação média (Bar)	Percentual de elevação de pressão	Pressão de condensação ideal (Bar)
01/04/2017	7,90	3,20%	7,65
03/04/2017	10,80	4,35%	10,33
06/04/2017	11,45	5,80%	10,79
07/04/2017	11,00	5,36%	10,41
08/04/2017	10,77	3,80%	10,36
10/04/2017	11,38	2,85%	11,05
11/04/2017	11,30	2,49%	11,02
12/04/2017	11,10	4,13%	10,64
13/04/2017	10,00	4,45%	9,56
14/04/2017	11,10	3,30%	10,73
17/04/2017	10,60	2,67%	10,32
18/04/2017	10,70	2,93%	10,39
19/04/2017	9,93	3,60%	9,57
20/04/2017	9,90	3,74%	9,53
21/04/2017	9,25	6,80%	8,62
22/04/2017	9,00	10,35%	8,07
23/04/2017	8,80	6,70%	8,21
24/04/2017	10,87	8,73%	9,92
25/04/2017	10,95	6,68%	10,22
26/04/2017	9,17	5,93%	8,62
27/04/2017	8,24	5,78%	7,76
28/04/2017	9,25	8,85%	8,43

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Em algumas datas das tabelas acima não foi realizado a coleta dos dados pelo operador da sala de máquinas. A média dos valores das tabelas acima foi expressa na figura 23, onde podemos analisar as variações de pressão de condensação e a redução do percentual de elevação de pressão causado pelos incondensáveis. Os meses de fevereiro e maio não constam nas tabelas acima, porém foram coletados valores e expressos na figura 23.

Figura 23: Gráfico pressão de condensação real x ideal



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017).

Sabendo as variações médias de elevação de pressão, o valor que isto representa em consumo dos compressores, e o consumo real do período, fica expresso na tabela abaixo os possíveis resultados da eliminação dos incondensáveis da instalação frigorífica. (o valor pago por kW/h na planta industrial analisada é de R\$ 0,40)

Tabela 9: Resultados obtidos

Mês	% Ar Instalação	Pressão de condensação real (bar)	Pressão de condensação Ideal (bar)	Consumo real (kW)	Consumo ideal (kW)	Economia (kW)	Economia (R\$)
Mar	5,34%	11,359	10,752	1.448.100	1.378.415	69.684,11	27.873,64
Abr	5,11%	10,156	9,637	1.057.800	1.014.237	43.562,03	17.424,81

Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Para o cálculo do consumo ideal (com a instalação isenta de contaminantes, onde a pressão de condensação real passa ser igual a pressão ideal para um determinado valor de temperatura de condensação), foi utilizado o valor calculado no item 3.4 em concordância com a figura 18, sendo, portanto, uma elevação de 7,93% para cada 1 bar de elevação de pressão. Desta forma, foram aplicadas as proporcionalidades definido o consumo ideal como:

Equação 5: Cálculo do consumo ideal

$$Cons_{ideal} = (Cons_{Real} - (Cons_{Real} \times ((Pressão\ real - Pressão\ ideal) * 0,0793))$$

4.4 AÇÕES DE REMOÇÃO E CONTROLE DOS INCONDENSÁVEIS

Como mensurado anteriormente, fica evidente os prejuízos que os incondensáveis causam no sistema de refrigeração, desta forma, ações para a remoção destes, é de crucial importância.

A planta possui um sistema de purga de ar que conta com um purgador automático modelo APPC-2 da marca Hansen conforme imagem abaixo.

Figura 24: Extrator de ar



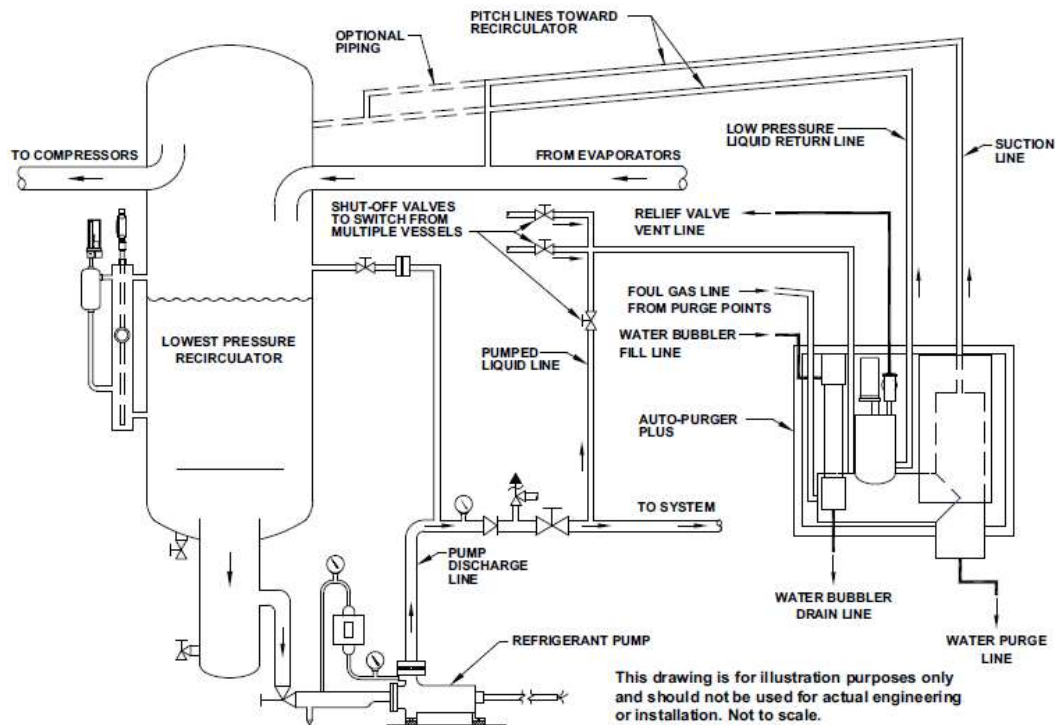
Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2017).

Este equipamento tem como objetivos, realizar a separação da mistura fluido refrigerante + ar (oxigênio, nitrogênio, argônio), provenientes dos vários pontos de purga presentes na planta. Através de um sistema automático, de comando de válvulas solenoides os vários pontos que contém incondensáveis são abertos e acessam o equipamento, junto com o ar vêm também fluido refrigerante a alta pressão e saturado. Após isso inicia-se o processo de

transferência de calor através de um trocador tipo casco- tubo, que recebe fluido de outro ponto (a baixa pressão e baixa temperatura). O Fluido a alta pressão é então condensado e o ar permanece no estado de vapor, separando assim as duas soluções e realizando a purga dos itens indesejados do sistema para o borbulhador e posteriormente, para a atmosfera.

O equipamento tem o seguinte esquema de interligação das tubulações:

Figura 25: Esquema de instalação do purgador de ar

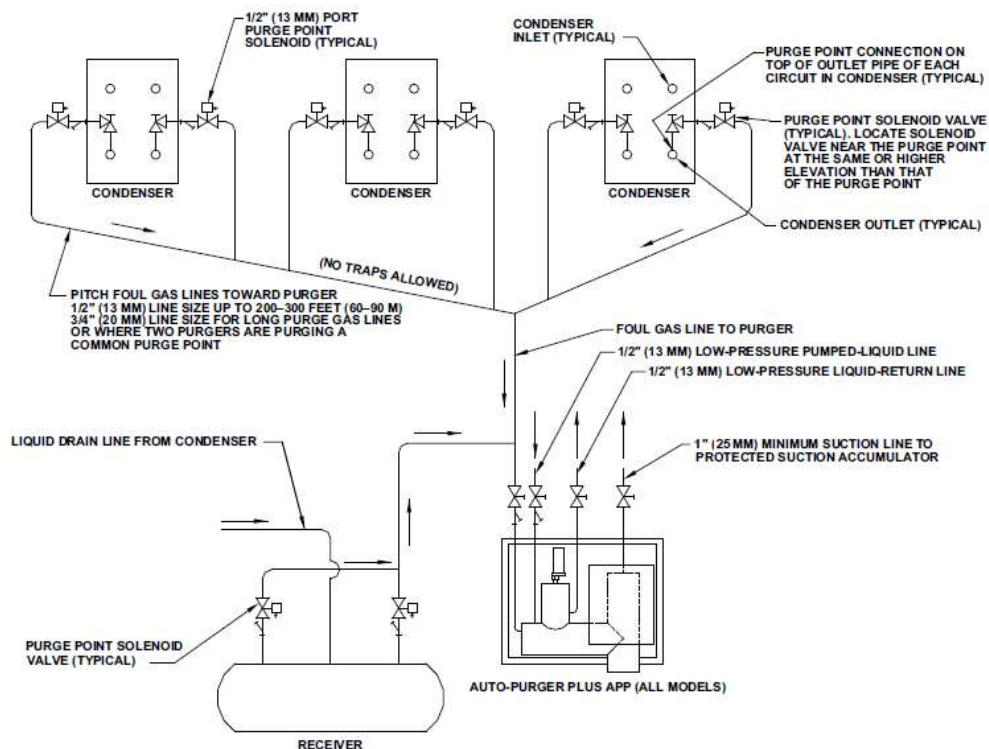


Fonte: Manual extrator de ar automático Hansen (2013).

Ao realizar o comissionamento da instalação do purgador de ar, foi constatado que as tubulações não estavam interligadas conforme o esquema disponibilizado pelo fabricante, prejudicando a remoção adequada dos incondensáveis do sistema e gerando constantes falhas no equipamento.

Foi constatado também, que as válvulas solenoides dos pontos de purga não estavam funcionando de forma adequada, e que algumas estavam até bloqueadas mecanicamente do resto do sistema.

Figura 26: Pontos de purga recomendados pelo fabricante



Fonte: Manual extrator de ar automático Hansen (2013).

Após a realização das duas ações citadas acima, deve-se acompanhar os níveis de aumento de pressão ao longo do tempo. Caso o sistema ainda não apresente baixos percentuais de elevação de pressão, ($< 0,5\%$, segundo o fabricante do equipamento), deve-se reprojeter o sistema de purga de incondensáveis, e caso necessário, adquirir um novo equipamento de para desempenhar tal função.

A remoção dos incondensáveis só acontece quando temos a presença deles no sistema, desta forma, recomenda-se eliminar os pontos de acesso destes gases para dentro do sistema. Isso acontece, devido a vazamentos onde a pressão da rede é menor que a pressão atmosférica, ou em eventuais manutenções em qualquer parte do ciclo ligada a rede de fluido refrigerante.

Para atuar nas causas do problema, sugere-se a aquisição e emprego de uma bomba de vácuo, está por sua vez, deve ser usada em qualquer parte do sistema que tenha sido aberta para reparos, inspeções ou qualquer outro motivo, realizando o vácuo e eliminando os incondensáveis antes que entrem em contato com o fluido refrigerante.

Para atuar nos vazamentos para dentro do sistema que ocorrem em válvulas, gaxetas, reparos, juntas e demais componentes de vedação, recomenda-se a aquisição de um detector ultrassônico de vazamentos. Esta ferramenta consegue detectar a incidência de qualquer tipo de

vazamento, seja para fora ou para dentro do sistema, através de um sensor que “ouve” as mesmas frequências em que os vazamentos “conversam”. Assim, após a detecção fica fácil realizar a manutenção no conjunto que apresenta a avaria, e eliminar a entrada de ar atmosférico.

Figura 27: Exemplo de bomba de vácuo



Fonte: Google imagens

Figura 28: Exemplo de detector ultrassônico de vazamento



Fonte: Bacharach (2017)

5 CONCLUSÃO

Conclui-se com este trabalho que a planta industrial analisada possui um elevado índice de contaminantes, em seu sistema de refrigeração industrial, representando cerca de 4% de elevação do consumo energético da sala de máquinas. Para os meses de março e abril de 2017, R\$ 27.873,64 e R\$ 17.424,81 respectivamente, poderiam ser economizados caso o sistema fosse completamente isento de contaminantes em sua instalação.

A modelagem matemática realizada, facilitou a coleta dos dados de elevação de pressão, permitindo acompanhar ao longo do tempo as alterações ocorridas no sistema,

Kelvin, em 1883, afirmava o que foi comprovado com o emprego deste recurso matemático: “O conhecimento amplo e satisfatório sobre um processo ou fenômeno somente existirá quando for possível medi-lo e expressá-lo através de números”.

Os softwares CoolPack e Excel, também foram fundamentais para a execução dos cálculos matemáticos e térmicos do sistema analisado, contribuindo para a precisão da pesquisa realizada.

Por fim, espera-se que as ações sugeridas para a remoção e controle dos incondensáveis do sistema sejam aplicadas na planta industrial, de modo a reduzir o consumo energético, aumentar a vida útil dos equipamentos, e obter sistemas cada vez mais eficientes, preservando o meio ambiente e maximizando os lucros da unidade industrial.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Analisar a influência de gases incondensáveis no rendimento isentrópico de compressores de amônia;

Estimar a quantidade volumétrica de incondensáveis para os valores percentuais de elevação de pressão;

Calcular a perda do coeficiente de transferência de calor dos condensadores de amônia, com a presença de incondensáveis no sistema.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABL. Academia Brasileira de letras. Reduções: **Reduções** mais correntes. 2017. Disponível em: <<http://www.academia.org.br/nossa-lingua/reducoes>>. Acesso em: 21 maio 2017.

BEN - **Balanço energético nacional**. MME - 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/gkkZ3K>>. Acesso em: 20 set. 2016.

CATÁLOGO **compressores alternativos Mycom**. 2016. Disponível em: <<http://mayekawa.com.br/wp/wp-content/uploads/2016/02/compressor-alternativo-serie-v-mayekawa.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2016.

ÇENGEL, Yanus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: Mc Graw Hill, 2013. 1020 p.

COOLPACK. **Cool Pack - Refrigeration Software Analytcs** - Versão 1.5. 2002. Disponível em: <<http://www.ipu.dk/>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

COSTA, Ennio Cruz da. **Refrigeração**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 1982. 321 p.

DANFOSS. **Industrial Refrigeration Ammonia & CO2 Applications**. 2014. Disponível em: <http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/dkrci.pa.000.c6.02_irapplication_handbook.pdf>. Acesso em: 12 set. 2016.

ELETRIC, Schneider. **Unity Pro XL**. 2017. Disponível em: <<http://www.schneider-electric.com.br/pt/faqs/FA291015/>>. Acesso em: 24 maio 2017.

GEORGE, R. M. **Freezing Processes Used in the Food Industry**. Trends in Food & Technology, vol.4, 1993.

HANSEN TECHNOLOGIES (Org.). **Manual técnico extrator de ar APP**. 2007. Disponível em: <www.clarkjohnsonco.com/assets/app_hansen_manual.pdf>. Acesso em: 24 maio 2017.

MACAGNAN, Mario Henrique. **Princípios Básicos de Refrigeração**. 2015. Disponível em: <<http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/index.htm>>. Acesso em: 16 out. 2016.

RAHN, Marco Aurélio dos Santos. **Estudo da Eficiência energética em sistemas de refrigeração mecânica que utilizam R717 contaminado por água**: Uma aplicação para a indústria pesqueira do Rio grande. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2006.

REFRIGERAÇÃO, Frio Plus. **Aumento da eficiência frigorífica com o uso do purgador de ar multiponto**. 2015. Disponível em: <http://www.frioplus.com.br/artigos_3.php>. Acesso em: 17 abr. 2017.

RIO DE JANEIRO. Epe Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energias. **Nota Técnica DEA 03/15** - Projeção da Demanda de Energia Elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024). 2015. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA_03-2015-Projeções da Demanda de Energia Elétrica 2015-2024.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA_03-2015-Projeções_da_Demanda_de_Energia_Elétrica_2015-2024.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2016.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. Saiz (Org.). **Refrigeração industrial**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2002.

VENTURINI, Osvaldo José; PIRANI, Marcelo José. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. 2005. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2014/04/22/6281/LivroRefrigeracao.pdf>. Acesso em: 18 set. 2016

WANNIARACHCHI, A.S. and R.L. Webb. 1982. **Noncondensable gases in shellside refrigerant condensers**. ASHRAE Transactions 88(2):170-184.

ANEXO

Anexo 1: Propriedades de saturação da amônia

Table of saturated values for: R717, NH3, Ammonia

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
10,00	6,150	1,6008	0,20533	245,87	1470,52	1224,65	1,1639	5,4890
10,10	6,172	1,6011	0,20466	246,33	1470,62	1224,28	1,1655	5,4878
10,20	6,193	1,6015	0,20399	246,80	1470,71	1223,91	1,1671	5,4865
10,30	6,214	1,6019	0,20332	247,26	1470,80	1223,54	1,1687	5,4853
10,40	6,236	1,6022	0,20265	247,72	1470,89	1223,17	1,1703	5,4841
10,50	6,257	1,6026	0,20198	248,18	1470,98	1222,80	1,1719	5,4829
10,60	6,279	1,6030	0,20132	248,64	1471,07	1222,43	1,1736	5,4817
10,70	6,300	1,6033	0,20066	249,10	1471,15	1222,05	1,1752	5,4805
10,80	6,322	1,6037	0,20000	249,56	1471,24	1221,68	1,1768	5,4792
10,90	6,344	1,6041	0,19935	250,02	1471,33	1221,31	1,1784	5,4780
11,00	6,365	1,6044	0,19870	250,48	1471,42	1220,94	1,1800	5,4768
11,10	6,387	1,6048	0,19805	250,95	1471,51	1220,57	1,1816	5,4756
11,20	6,409	1,6051	0,19740	251,41	1471,60	1220,19	1,1832	5,4744
11,30	6,431	1,6055	0,19676	251,87	1471,69	1219,82	1,1848	5,4732
11,40	6,453	1,6059	0,19612	252,33	1471,78	1219,45	1,1864	5,4720
11,50	6,475	1,6062	0,19548	252,79	1471,87	1219,07	1,1881	5,4708
11,60	6,497	1,6066	0,19484	253,25	1471,95	1218,70	1,1897	5,4696
11,70	6,520	1,6070	0,19421	253,71	1472,04	1218,33	1,1913	5,4684
11,80	6,542	1,6074	0,19358	254,18	1472,13	1217,95	1,1929	5,4672
11,90	6,564	1,6077	0,19295	254,64	1472,22	1217,58	1,1945	5,4659
12,00	6,586	1,6081	0,19232	255,10	1472,30	1217,21	1,1961	5,4647
12,10	6,609	1,6085	0,19170	255,56	1472,39	1216,83	1,1977	5,4635
12,20	6,631	1,6088	0,19107	256,02	1472,48	1216,46	1,1993	5,4623
12,30	6,654	1,6092	0,19046	256,48	1472,56	1216,08	1,2009	5,4611
12,40	6,676	1,6096	0,18984	256,95	1472,65	1215,71	1,2025	5,4599
12,50	6,699	1,6099	0,18922	257,41	1472,74	1215,33	1,2041	5,4587
12,60	6,722	1,6103	0,18861	257,87	1472,82	1214,95	1,2057	5,4575
12,70	6,745	1,6107	0,18800	258,33	1472,91	1214,58	1,2073	5,4563
12,80	6,767	1,6110	0,18740	258,79	1473,00	1214,20	1,2089	5,4551
12,90	6,790	1,6114	0,18679	259,26	1473,08	1213,83	1,2105	5,4539
13,00	6,813	1,6118	0,18619	259,72	1473,17	1213,45	1,2121	5,4527
13,10	6,836	1,6122	0,18559	260,18	1473,25	1213,07	1,2137	5,4516
13,20	6,859	1,6125	0,18499	260,64	1473,34	1212,70	1,2153	5,4504
13,30	6,882	1,6129	0,18440	261,10	1473,42	1212,32	1,2169	5,4492
13,40	6,906	1,6133	0,18380	261,57	1473,51	1211,94	1,2185	5,4480
13,50	6,929	1,6137	0,18321	262,03	1473,59	1211,56	1,2201	5,4468
13,60	6,952	1,6140	0,18262	262,49	1473,68	1211,19	1,2217	5,4456
13,70	6,975	1,6144	0,18204	262,95	1473,76	1210,81	1,2233	5,4444
13,80	6,999	1,6148	0,18145	263,42	1473,85	1210,43	1,2249	5,4432
13,90	7,022	1,6152	0,18087	263,88	1473,93	1210,05	1,2265	5,4420
14,00	7,046	1,6155	0,18029	264,34	1474,02	1209,67	1,2281	5,4408
14,10	7,070	1,6159	0,17971	264,80	1474,10	1209,30	1,2297	5,4396
14,20	7,093	1,6163	0,17914	265,27	1474,18	1208,92	1,2313	5,4385
14,30	7,117	1,6167	0,17857	265,73	1474,27	1208,54	1,2329	5,4373
14,40	7,141	1,6170	0,17800	266,19	1474,35	1208,16	1,2345	5,4361
14,50	7,165	1,6174	0,17743	266,66	1474,43	1207,78	1,2361	5,4349
14,60	7,188	1,6178	0,17686	267,12	1474,52	1207,40	1,2377	5,4337
14,70	7,212	1,6182	0,17630	267,58	1474,60	1207,02	1,2393	5,4325
14,80	7,237	1,6185	0,17574	268,04	1474,68	1206,64	1,2409	5,4313
14,90	7,261	1,6189	0,17518	268,51	1474,76	1206,26	1,2425	5,4302
15,00	7,285	1,6193	0,17462	268,97	1474,85	1205,88	1,2441	5,4290
15,10	7,309	1,6197	0,17406	269,43	1474,93	1205,50	1,2457	5,4278
15,20	7,333	1,6201	0,17351	269,90	1475,01	1205,11	1,2473	5,4266
15,30	7,358	1,6204	0,17296	270,36	1475,09	1204,73	1,2489	5,4254
15,40	7,382	1,6208	0,17241	270,82	1475,17	1204,35	1,2505	5,4243
15,50	7,406	1,6212	0,17186	271,29	1475,26	1203,97	1,2521	5,4231
15,60	7,431	1,6216	0,17132	271,75	1475,34	1203,59	1,2536	5,4219
15,70	7,456	1,6219	0,17078	272,21	1475,42	1203,20	1,2552	5,4207
15,80	7,480	1,6223	0,17024	272,68	1475,50	1202,82	1,2568	5,4196
15,90	7,505	1,6227	0,16970	273,14	1475,58	1202,44	1,2584	5,4184

Table of saturated values for: R717, NH3, Ammonia

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
16,00	7,530	1,6231	0,16916	273,60	1475,66	1202,06	1,2600	5,4172
16,10	7,555	1,6235	0,16863	274,07	1475,74	1201,67	1,2616	5,4160
16,20	7,580	1,6239	0,16809	274,53	1475,82	1201,29	1,2632	5,4149
16,30	7,604	1,6242	0,16756	275,00	1475,90	1200,91	1,2648	5,4137
16,40	7,630	1,6246	0,16703	275,46	1475,98	1200,52	1,2664	5,4125
16,50	7,655	1,6250	0,16651	275,92	1476,06	1200,14	1,2679	5,4114
16,60	7,680	1,6254	0,16598	276,39	1476,14	1199,75	1,2695	5,4102
16,70	7,705	1,6258	0,16546	276,85	1476,22	1199,37	1,2711	5,4090
16,80	7,730	1,6262	0,16494	277,31	1476,30	1198,98	1,2727	5,4078
16,90	7,756	1,6265	0,16442	277,78	1476,38	1198,60	1,2743	5,4067
17,00	7,781	1,6269	0,16391	278,24	1476,46	1198,21	1,2759	5,4055
17,10	7,807	1,6273	0,16339	278,71	1476,54	1197,83	1,2775	5,4043
17,20	7,832	1,6277	0,16288	279,17	1476,61	1197,44	1,2790	5,4032
17,30	7,858	1,6281	0,16237	279,64	1476,69	1197,06	1,2806	5,4020
17,40	7,883	1,6285	0,16186	280,10	1476,77	1196,67	1,2822	5,4009
17,50	7,909	1,6289	0,16135	280,56	1476,85	1196,28	1,2838	5,3997
17,60	7,935	1,6292	0,16085	281,03	1476,93	1195,90	1,2854	5,3985
17,70	7,961	1,6296	0,16035	281,49	1477,00	1195,51	1,2870	5,3974
17,80	7,987	1,6300	0,15985	281,96	1477,08	1195,12	1,2885	5,3962
17,90	8,013	1,6304	0,15935	282,42	1477,16	1194,74	1,2901	5,3950
18,00	8,039	1,6308	0,15885	282,89	1477,24	1194,35	1,2917	5,3939
18,10	8,065	1,6312	0,15835	283,35	1477,31	1193,96	1,2933	5,3927
18,20	8,091	1,6316	0,15786	283,82	1477,39	1193,57	1,2949	5,3916
18,30	8,117	1,6320	0,15737	284,28	1477,47	1193,19	1,2964	5,3904
18,40	8,144	1,6323	0,15688	284,74	1477,54	1192,80	1,2980	5,3893
18,50	8,170	1,6327	0,15639	285,21	1477,62	1192,41	1,2996	5,3881
18,60	8,196	1,6331	0,15590	285,67	1477,69	1192,02	1,3012	5,3869
18,70	8,223	1,6335	0,15542	286,14	1477,77	1191,63	1,3028	5,3858
18,80	8,250	1,6339	0,15494	286,60	1477,85	1191,24	1,3043	5,3846
18,90	8,276	1,6343	0,15446	287,07	1477,92	1190,85	1,3059	5,3835
19,00	8,303	1,6347	0,15398	287,53	1478,00	1190,46	1,3075	5,3823
19,10	8,330	1,6351	0,15350	288,00	1478,07	1190,07	1,3091	5,3812
19,20	8,357	1,6355	0,15303	288,46	1478,15	1189,68	1,3107	5,3800
19,30	8,383	1,6359	0,15255	288,93	1478,22	1189,29	1,3122	5,3789
19,40	8,410	1,6363	0,15208	289,40	1478,30	1188,90	1,3138	5,3777
19,50	8,438	1,6367	0,15161	289,86	1478,37	1188,51	1,3154	5,3766
19,60	8,465	1,6370	0,15114	290,33	1478,45	1188,12	1,3170	5,3754
19,70	8,492	1,6374	0,15068	290,79	1478,52	1187,73	1,3185	5,3743
19,80	8,519	1,6378	0,15021	291,26	1478,59	1187,34	1,3201	5,3731
19,90	8,546	1,6382	0,14975	291,72	1478,67	1186,94	1,3217	5,3720
20,00	8,574	1,6386	0,14929	292,19	1478,74	1186,55	1,3232	5,3708
20,10	8,601	1,6390	0,14883	292,65	1478,81	1186,16	1,3248	5,3697
20,20	8,629	1,6394	0,14837	293,12	1478,89	1185,77	1,3264	5,3686
20,30	8,656	1,6398	0,14791	293,59	1478,96	1185,37	1,3280	5,3674
20,40	8,684	1,6402	0,14746	294,05	1479,03	1184,98	1,3295	5,3663
20,50	8,712	1,6406	0,14701	294,52	1479,11	1184,59	1,3311	5,3651
20,60	8,739	1,6410	0,14655	294,98	1479,18	1184,20	1,3327	5,3640
20,70	8,767	1,6414	0,14610	295,45	1479,25	1183,80	1,3342	5,3628
20,80	8,795	1,6418	0,14566	295,91	1479,32	1183,41	1,3358	5,3617
20,90	8,823	1,6422	0,14521	296,38	1479,39	1183,01	1,3374	5,3606
21,00	8,851	1,6426	0,14477	296,85	1479,47	1182,62	1,3390	5,3594
21,10	8,879	1,6430	0,14432	297,31	1479,54	1182,22	1,3405	5,3583
21,20	8,908	1,6434	0,14388	297,78	1479,61	1181,83	1,3421	5,3571
21,30	8,936	1,6438	0,14344	298,25	1479,68	1181,43	1,3437	5,3560
21,40	8,964	1,6442	0,14300	298,71	1479,75	1181,04	1,3452	5,3549
21,50	8,993	1,6446	0,14257	299,18	1479,82	1180,64	1,3468	5,3537
21,60	9,021	1,6450	0,14213	299,64	1479,89	1180,25	1,3484	5,3526
21,70	9,050	1,6454	0,14170	300,11	1479,96	1179,85	1,3499	5,3515
21,80	9,078	1,6458	0,14127	300,58	1480,03	1179,46	1,3515	5,3503
21,90	9,107	1,6462	0,14084	301,04	1480,10	1179,06	1,3531	5,3492

Table of saturated values for: R717, NH3, Ammonia

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
22,00	9,136	1,6466	0,14041	301,51	1480,17	1178,66	1,3546	5,3481
22,10	9,164	1,6470	0,13998	301,98	1480,24	1178,27	1,3562	5,3469
22,20	9,193	1,6474	0,13956	302,44	1480,31	1177,87	1,3578	5,3458
22,30	9,222	1,6478	0,13913	302,91	1480,38	1177,47	1,3593	5,3447
22,40	9,251	1,6482	0,13871	303,38	1480,45	1177,07	1,3609	5,3435
22,50	9,280	1,6486	0,13829	303,85	1480,52	1176,67	1,3624	5,3424
22,60	9,310	1,6490	0,13787	304,31	1480,59	1176,28	1,3640	5,3413
22,70	9,339	1,6494	0,13745	304,78	1480,66	1175,88	1,3656	5,3401
22,80	9,368	1,6498	0,13704	305,25	1480,73	1175,48	1,3671	5,3390
22,90	9,397	1,6502	0,13662	305,71	1480,79	1175,08	1,3687	5,3379
23,00	9,427	1,6506	0,13621	306,18	1480,86	1174,68	1,3703	5,3368
23,10	9,456	1,6511	0,13580	306,65	1480,93	1174,28	1,3718	5,3356
23,20	9,486	1,6515	0,13539	307,12	1481,00	1173,88	1,3734	5,3345
23,30	9,516	1,6519	0,13498	307,58	1481,07	1173,48	1,3749	5,3334
23,40	9,545	1,6523	0,13457	308,05	1481,13	1173,08	1,3765	5,3323
23,50	9,575	1,6527	0,13417	308,52	1481,20	1172,68	1,3781	5,3311
23,60	9,605	1,6531	0,13376	308,99	1481,27	1172,28	1,3796	5,3300
23,70	9,635	1,6535	0,13336	309,45	1481,33	1171,88	1,3812	5,3289
23,80	9,665	1,6539	0,13296	309,92	1481,40	1171,48	1,3827	5,3278
23,90	9,695	1,6543	0,13256	310,39	1481,47	1171,08	1,3843	5,3267
24,00	9,725	1,6547	0,13216	310,86	1481,53	1170,68	1,3859	5,3255
24,10	9,755	1,6551	0,13176	311,32	1481,60	1170,27	1,3874	5,3244
24,20	9,786	1,6556	0,13137	311,79	1481,67	1169,87	1,3890	5,3233
24,30	9,816	1,6560	0,13097	312,26	1481,73	1169,47	1,3905	5,3222
24,40	9,847	1,6564	0,13058	312,73	1481,80	1169,07	1,3921	5,3211
24,50	9,877	1,6568	0,13019	313,20	1481,86	1168,67	1,3936	5,3199
24,60	9,908	1,6572	0,12980	313,66	1481,93	1168,26	1,3952	5,3188
24,70	9,938	1,6576	0,12941	314,13	1481,99	1167,86	1,3967	5,3177
24,80	9,969	1,6580	0,12903	314,60	1482,06	1167,46	1,3983	5,3166
24,90	10,000	1,6584	0,12864	315,07	1482,12	1167,05	1,3999	5,3155
25,00	10,031	1,6588	0,12826	315,54	1482,19	1166,65	1,4014	5,3144
25,10	10,062	1,6593	0,12787	316,01	1482,25	1166,24	1,4030	5,3132
25,20	10,093	1,6597	0,12749	316,48	1482,31	1165,84	1,4045	5,3121
25,30	10,124	1,6601	0,12711	316,94	1482,38	1165,43	1,4061	5,3110
25,40	10,155	1,6605	0,12673	317,41	1482,44	1165,03	1,4076	5,3099
25,50	10,186	1,6609	0,12636	317,88	1482,50	1164,62	1,4092	5,3088
25,60	10,217	1,6613	0,12598	318,35	1482,57	1164,22	1,4107	5,3077
25,70	10,249	1,6618	0,12560	318,82	1482,63	1163,81	1,4123	5,3066
25,80	10,280	1,6622	0,12523	319,29	1482,69	1163,41	1,4138	5,3055
25,90	10,312	1,6626	0,12486	319,76	1482,76	1163,00	1,4154	5,3044
26,00	10,343	1,6630	0,12449	320,23	1482,82	1162,59	1,4169	5,3033
26,10	10,375	1,6634	0,12412	320,69	1482,88	1162,19	1,4185	5,3021
26,20	10,407	1,6638	0,12375	321,16	1482,94	1161,78	1,4200	5,3010
26,30	10,439	1,6643	0,12338	321,63	1483,01	1161,37	1,4216	5,2999
26,40	10,471	1,6647	0,12302	322,10	1483,07	1160,97	1,4231	5,2988
26,50	10,503	1,6651	0,12265	322,57	1483,13	1160,56	1,4247	5,2977
26,60	10,535	1,6655	0,12229	323,04	1483,19	1160,15	1,4262	5,2966
26,70	10,567	1,6659	0,12193	323,51	1483,25	1159,74	1,4278	5,2955
26,80	10,599	1,6664	0,12157	323,98	1483,31	1159,33	1,4293	5,2944
26,90	10,631	1,6668	0,12121	324,45	1483,37	1158,92	1,4309	5,2933
27,00	10,664	1,6672	0,12085	324,92	1483,43	1158,51	1,4324	5,2922
27,10	10,696	1,6676	0,12050	325,39	1483,49	1158,11	1,4340	5,2911
27,20	10,728	1,6680	0,12014	325,86	1483,55	1157,70	1,4355	5,2900
27,30	10,761	1,6685	0,11979	326,33	1483,61	1157,29	1,4370	5,2889
27,40	10,794	1,6689	0,11943	326,80	1483,67	1156,88	1,4386	5,2878
27,50	10,826	1,6693	0,11908	327,27	1483,73	1156,47	1,4401	5,2867
27,60	10,859	1,6697	0,11873	327,74	1483,79	1156,06	1,4417	5,2856
27,70	10,892	1,6702	0,11838	328,21	1483,85	1155,64	1,4432	5,2845
27,80	10,925	1,6706	0,11804	328,68	1483,91	1155,23	1,4448	5,2834
27,90	10,958	1,6710	0,11769	329,15	1483,97	1154,82	1,4463	5,2823

Table of saturated values for: R717, NH3, Ammonia

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
28,00	10,991	1,6714	0,11734	329,62	1484,03	1154,41	1,4479	5,2812
28,10	11,024	1,6719	0,11700	330,09	1484,09	1154,00	1,4494	5,2801
28,20	11,058	1,6723	0,11666	330,56	1484,15	1153,59	1,4509	5,2790
28,30	11,091	1,6727	0,11632	331,03	1484,20	1153,17	1,4525	5,2779
28,40	11,124	1,6731	0,11597	331,50	1484,26	1152,76	1,4540	5,2768
28,50	11,158	1,6736	0,11564	331,97	1484,32	1152,35	1,4556	5,2757
28,60	11,191	1,6740	0,11530	332,44	1484,38	1151,94	1,4571	5,2746
28,70	11,225	1,6744	0,11496	332,91	1484,43	1151,52	1,4587	5,2735
28,80	11,259	1,6749	0,11462	333,38	1484,49	1151,11	1,4602	5,2724
28,90	11,292	1,6753	0,11429	333,85	1484,55	1150,69	1,4617	5,2713
29,00	11,326	1,6757	0,11396	334,32	1484,60	1150,28	1,4633	5,2703
29,10	11,360	1,6762	0,11362	334,80	1484,66	1149,87	1,4648	5,2692
29,20	11,394	1,6766	0,11329	335,27	1484,72	1149,45	1,4664	5,2681
29,30	11,428	1,6770	0,11296	335,74	1484,77	1149,04	1,4679	5,2670
29,40	11,463	1,6774	0,11263	336,21	1484,83	1148,62	1,4694	5,2659
29,50	11,497	1,6779	0,11231	336,68	1484,89	1148,21	1,4710	5,2648
29,60	11,531	1,6783	0,11198	337,15	1484,94	1147,79	1,4725	5,2637
29,70	11,566	1,6787	0,11165	337,62	1485,00	1147,37	1,4740	5,2626
29,80	11,600	1,6792	0,11133	338,09	1485,05	1146,96	1,4756	5,2615
29,90	11,635	1,6796	0,11101	338,57	1485,11	1146,54	1,4771	5,2605
30,00	11,669	1,6800	0,11069	339,04	1485,16	1146,12	1,4787	5,2594
30,10	11,704	1,6805	0,11036	339,51	1485,22	1145,71	1,4802	5,2583
30,20	11,739	1,6809	0,11005	339,98	1485,27	1145,29	1,4817	5,2572
30,30	11,774	1,6813	0,10973	340,45	1485,32	1144,87	1,4833	5,2561
30,40	11,809	1,6818	0,10941	340,92	1485,38	1144,45	1,4848	5,2550
30,50	11,844	1,6822	0,10909	341,40	1485,43	1144,04	1,4863	5,2539
30,60	11,879	1,6827	0,10878	341,87	1485,49	1143,62	1,4879	5,2529
30,70	11,914	1,6831	0,10846	342,34	1485,54	1143,20	1,4894	5,2518
30,80	11,949	1,6835	0,10815	342,81	1485,59	1142,78	1,4909	5,2507
30,90	11,985	1,6840	0,10784	343,28	1485,64	1142,36	1,4925	5,2496
31,00	12,020	1,6844	0,10753	343,76	1485,70	1141,94	1,4940	5,2485
31,10	12,056	1,6848	0,10722	344,23	1485,75	1141,52	1,4955	5,2475
31,20	12,091	1,6853	0,10691	344,70	1485,80	1141,10	1,4971	5,2464
31,30	12,127	1,6857	0,10660	345,17	1485,85	1140,68	1,4986	5,2453
31,40	12,163	1,6862	0,10629	345,65	1485,91	1140,26	1,5001	5,2442
31,50	12,198	1,6866	0,10599	346,12	1485,96	1139,84	1,5017	5,2431
31,60	12,234	1,6870	0,10568	346,59	1486,01	1139,42	1,5032	5,2421
31,70	12,270	1,6875	0,10538	347,06	1486,06	1139,00	1,5047	5,2410
31,80	12,306	1,6879	0,10508	347,54	1486,11	1138,58	1,5063	5,2399
31,90	12,343	1,6884	0,10477	348,01	1486,16	1138,15	1,5078	5,2388
32,00	12,379	1,6888	0,10447	348,48	1486,21	1137,73	1,5093	5,2377
32,10	12,415	1,6893	0,10417	348,96	1486,26	1137,31	1,5108	5,2367
32,20	12,452	1,6897	0,10388	349,43	1486,31	1136,89	1,5124	5,2356
32,30	12,488	1,6901	0,10358	349,90	1486,37	1136,46	1,5139	5,2345
32,40	12,525	1,6906	0,10328	350,38	1486,42	1136,04	1,5154	5,2334
32,50	12,561	1,6910	0,10299	350,85	1486,46	1135,62	1,5170	5,2324
32,60	12,598	1,6915	0,10269	351,32	1486,51	1135,19	1,5185	5,2313
32,70	12,635	1,6919	0,10240	351,80	1486,56	1134,77	1,5200	5,2302
32,80	12,672	1,6924	0,10211	352,27	1486,61	1134,34	1,5215	5,2292
32,90	12,709	1,6928	0,10182	352,74	1486,66	1133,92	1,5231	5,2281
33,00	12,746	1,6933	0,10153	353,22	1486,71	1133,49	1,5246	5,2270
33,10	12,783	1,6937	0,10124	353,69	1486,76	1133,07	1,5261	5,2259
33,20	12,820	1,6942	0,10095	354,16	1486,81	1132,64	1,5276	5,2249
33,30	12,857	1,6946	0,10066	354,64	1486,86	1132,22	1,5292	5,2238
33,40	12,895	1,6951	0,10037	355,11	1486,90	1131,79	1,5307	5,2227
33,50	12,932	1,6955	0,10009	355,59	1486,95	1131,37	1,5322	5,2217
33,60	12,970	1,6960	0,09980	356,06	1487,00	1130,94	1,5337	5,2206
33,70	13,007	1,6964	0,09952	356,53	1487,05	1130,51	1,5353	5,2195
33,80	13,045	1,6969	0,09924	357,01	1487,09	1130,08	1,5368	5,2185
33,90	13,083	1,6973	0,09896	357,48	1487,14	1129,66	1,5383	5,2174

Table of saturated values for: R717, NH3, Ammonia

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
34,00	13,121	1,6978	0,09867	357,96	1487,19	1129,23	1,5398	5,2163
34,10	13,159	1,6982	0,09840	358,43	1487,23	1128,80	1,5414	5,2153
34,20	13,197	1,6987	0,09812	358,91	1487,28	1128,37	1,5429	5,2142
34,30	13,235	1,6991	0,09784	359,38	1487,33	1127,94	1,5444	5,2131
34,40	13,273	1,6996	0,09757	359,73	1487,38	1127,65	1,5456	5,2121
34,50	13,311	1,7000	0,09730	360,21	1487,43	1127,22	1,5471	5,2111
34,60	13,350	1,7005	0,09702	360,68	1487,47	1126,79	1,5486	5,2100
34,70	13,388	1,7009	0,09675	361,16	1487,52	1126,36	1,5501	5,2089
34,80	13,427	1,7014	0,09647	361,63	1487,56	1125,93	1,5517	5,2079
34,90	13,465	1,7018	0,09620	362,11	1487,61	1125,50	1,5532	5,2068
35,00	13,504	1,7023	0,09593	362,58	1487,65	1125,07	1,5547	5,2058
35,10	13,543	1,7028	0,09566	363,05	1487,70	1124,64	1,5562	5,2047
35,20	13,582	1,7032	0,09539	363,53	1487,74	1124,21	1,5577	5,2036
35,30	13,620	1,7037	0,09512	364,01	1487,78	1123,78	1,5593	5,2026
35,40	13,660	1,7041	0,09485	364,48	1487,83	1123,35	1,5608	5,2015
35,50	13,699	1,7046	0,09459	364,96	1487,87	1122,92	1,5623	5,2005
35,60	13,738	1,7051	0,09432	365,43	1487,92	1122,48	1,5638	5,1994
35,70	13,777	1,7055	0,09406	365,91	1487,96	1122,05	1,5653	5,1983
35,80	13,817	1,7060	0,09379	366,38	1488,00	1121,62	1,5669	5,1973
35,90	13,856	1,7064	0,09353	366,86	1488,04	1121,19	1,5684	5,1962
36,00	13,896	1,7069	0,09327	367,33	1488,09	1120,75	1,5699	5,1952
36,10	13,935	1,7074	0,09300	367,81	1488,13	1120,32	1,5714	5,1941
36,20	13,975	1,7078	0,09274	368,28	1488,17	1119,89	1,5729	5,1930
36,30	14,015	1,7083	0,09248	368,76	1488,21	1119,45	1,5744	5,1920
36,40	14,055	1,7087	0,09222	369,24	1488,26	1119,02	1,5759	5,1909
36,50	14,095	1,7092	0,09197	369,71	1488,30	1118,58	1,5775	5,1899
36,60	14,135	1,7097	0,09171	370,19	1488,34	1118,15	1,5790	5,1888
36,70	14,175	1,7101	0,09145	370,66	1488,38	1117,71	1,5805	5,1878
36,80	14,215	1,7106	0,09120	371,14	1488,42	1117,28	1,5820	5,1867
36,90	14,255	1,7111	0,09094	371,62	1488,46	1116,84	1,5835	5,1857
37,00	14,296	1,7115	0,09069	372,09	1488,50	1116,41	1,5850	5,1846
37,10	14,336	1,7120	0,09044	372,57	1488,54	1115,97	1,5866	5,1836
37,20	14,377	1,7125	0,09018	373,05	1488,58	1115,53	1,5881	5,1825
37,30	14,418	1,7129	0,08993	373,52	1488,62	1115,10	1,5896	5,1815
37,40	14,458	1,7134	0,08968	374,00	1488,66	1114,66	1,5911	5,1804
37,50	14,499	1,7139	0,08943	374,48	1488,70	1114,22	1,5926	5,1794
37,60	14,540	1,7143	0,08918	374,95	1488,74	1113,79	1,5941	5,1783
37,70	14,581	1,7148	0,08894	375,43	1488,78	1113,35	1,5956	5,1773
37,80	14,622	1,7153	0,08869	375,91	1488,82	1112,91	1,5971	5,1762
37,90	14,663	1,7157	0,08844	376,39	1488,86	1112,47	1,5987	5,1752
38,00	14,705	1,7162	0,08820	376,86	1488,89	1112,03	1,6002	5,1741
38,10	14,746	1,7167	0,08795	377,34	1488,93	1111,59	1,6017	5,1731
38,20	14,788	1,7172	0,08771	377,82	1488,97	1111,15	1,6032	5,1720
38,30	14,829	1,7176	0,08746	378,29	1489,01	1110,71	1,6047	5,1710
38,40	14,871	1,7181	0,08722	378,77	1489,04	1110,27	1,6062	5,1699
38,50	14,912	1,7186	0,08698	379,25	1489,08	1109,83	1,6077	5,1689
38,60	14,954	1,7191	0,08674	379,73	1489,12	1109,39	1,6092	5,1678
38,70	14,996	1,7195	0,08650	380,21	1489,16	1108,95	1,6107	5,1668
38,80	15,038	1,7200	0,08626	380,68	1489,19	1108,51	1,6122	5,1657
38,90	15,080	1,7205	0,08602	381,16	1489,23	1108,07	1,6138	5,1647
39,00	15,122	1,7210	0,08578	381,64	1489,26	1107,62	1,6153	5,1636
39,10	15,165	1,7214	0,08555	382,12	1489,30	1107,18	1,6168	5,1626
39,20	15,207	1,7219	0,08531	382,60	1489,34	1106,74	1,6183	5,1615
39,30	15,249	1,7224	0,08508	383,07	1489,37	1106,30	1,6198	5,1605
39,40	15,292	1,7229	0,08484	383,55	1489,41	1105,85	1,6213	5,1595
39,50	15,335	1,7233	0,08461	384,03	1489,44	1105,41	1,6228	5,1584
39,60	15,377	1,7238	0,08437	384,51	1489,48	1104,97	1,6243	5,1574
39,70	15,420	1,7243	0,08414	384,99	1489,51	1104,52	1,6258	5,1563
39,80	15,463	1,7248	0,08391	385,47	1489,55	1104,08	1,6273	5,1553
39,90	15,506	1,7253	0,08368	385,95	1489,58	1103,63	1,6288	5,1543

Table of saturated values for: R717, NH3, Ammonia

T °C	p Bar	v_l dm ³ /kg	v_g m ³ /kg	h_l kJ/kg	h_g kJ/kg	R kJ/kg	s_l kJ/(kg K)	s_g kJ/(kg K)
40,00	15,549	1,7257	0,08345	386,43	1489,61	1103,19	1,6303	5,1532
40,10	15,592	1,7262	0,08322	386,90	1489,65	1102,74	1,6318	5,1522
40,20	15,635	1,7267	0,08299	387,38	1489,68	1102,30	1,6333	5,1511
40,30	15,679	1,7272	0,08276	387,86	1489,71	1101,85	1,6349	5,1501
40,40	15,722	1,7277	0,08254	388,34	1489,75	1101,40	1,6364	5,1491
40,50	15,766	1,7282	0,08231	388,82	1489,78	1100,96	1,6379	5,1480
40,60	15,809	1,7286	0,08209	389,30	1489,81	1100,51	1,6394	5,1470
40,70	15,853	1,7291	0,08186	389,78	1489,84	1100,06	1,6409	5,1459
40,80	15,897	1,7296	0,08164	390,26	1489,88	1099,62	1,6424	5,1449
40,90	15,941	1,7301	0,08141	390,74	1489,91	1099,17	1,6439	5,1439
41,00	15,985	1,7306	0,08119	391,22	1489,94	1098,72	1,6454	5,1428
41,10	16,029	1,7311	0,08097	391,70	1489,97	1098,27	1,6469	5,1418
41,20	16,073	1,7316	0,08075	392,18	1490,00	1097,82	1,6484	5,1408
41,30	16,117	1,7320	0,08053	392,66	1490,03	1097,37	1,6499	5,1397
41,40	16,161	1,7325	0,08031	393,14	1490,07	1096,92	1,6514	5,1387
41,50	16,206	1,7330	0,08009	393,62	1490,10	1096,47	1,6529	5,1376
41,60	16,250	1,7335	0,07987	394,10	1490,13	1096,02	1,6544	5,1366
41,70	16,295	1,7340	0,07965	394,58	1490,16	1095,57	1,6559	5,1356
41,80	16,340	1,7345	0,07943	395,06	1490,19	1095,12	1,6574	5,1345
41,90	16,384	1,7350	0,07922	395,54	1490,22	1094,67	1,6589	5,1335
42,00	16,429	1,7355	0,07900	396,02	1490,25	1094,22	1,6604	5,1325
42,10	16,474	1,7360	0,07879	396,51	1490,27	1093,77	1,6619	5,1314
42,20	16,519	1,7365	0,07857	396,99	1490,30	1093,32	1,6634	5,1304
42,30	16,565	1,7370	0,07836	397,47	1490,33	1092,87	1,6649	5,1294
42,40	16,610	1,7375	0,07815	397,95	1490,36	1092,41	1,6664	5,1283
42,50	16,655	1,7379	0,07793	398,43	1490,39	1091,96	1,6679	5,1273
42,60	16,701	1,7384	0,07772	398,91	1490,42	1091,51	1,6694	5,1263
42,70	16,746	1,7389	0,07751	399,39	1490,45	1091,05	1,6709	5,1252
42,80	16,792	1,7394	0,07730	399,87	1490,47	1090,60	1,6724	5,1242
42,90	16,837	1,7399	0,07709	400,36	1490,50	1090,14	1,6739	5,1232
43,00	16,883	1,7404	0,07688	400,84	1490,53	1089,69	1,6754	5,1222
43,10	16,929	1,7409	0,07668	401,32	1490,55	1089,23	1,6769	5,1211
43,20	16,975	1,7414	0,07647	401,80	1490,58	1088,78	1,6784	5,1201
43,30	17,021	1,7419	0,07626	402,28	1490,61	1088,32	1,6799	5,1191
43,40	17,068	1,7424	0,07605	402,77	1490,63	1087,87	1,6814	5,1180
43,50	17,114	1,7429	0,07585	403,25	1490,66	1087,41	1,6829	5,1170
43,60	17,160	1,7434	0,07564	403,73	1490,69	1086,96	1,6844	5,1160
43,70	17,207	1,7439	0,07544	404,21	1490,71	1086,50	1,6859	5,1150
43,80	17,253	1,7444	0,07524	404,70	1490,74	1086,04	1,6874	5,1139
43,90	17,300	1,7449	0,07503	405,18	1490,76	1085,58	1,6889	5,1129
44,00	17,347	1,7454	0,07483	405,66	1490,79	1085,13	1,6904	5,1119
44,10	17,394	1,7459	0,07463	406,14	1490,81	1084,67	1,6919	5,1108
44,20	17,441	1,7464	0,07443	406,63	1490,84	1084,21	1,6934	5,1098
44,30	17,488	1,7469	0,07423	407,11	1490,86	1083,75	1,6949	5,1088
44,40	17,535	1,7475	0,07403	407,59	1490,88	1083,29	1,6964	5,1078
44,50	17,582	1,7480	0,07383	408,08	1490,91	1082,83	1,6979	5,1067
44,60	17,629	1,7485	0,07363	408,56	1490,93	1082,37	1,6994	5,1057
44,70	17,677	1,7490	0,07343	409,04	1490,95	1081,91	1,7009	5,1047
44,80	17,724	1,7495	0,07324	409,53	1490,98	1081,45	1,7024	5,1037
44,90	17,772	1,7500	0,07304	410,01	1491,00	1080,99	1,7038	5,1026

Copyright © 1999 Dep. of Energy Engineering, DTU
M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen