



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS NO DESEMPENHO DE UMA PLANTA FRIGORÍFICA DE GRANDE PORTE

Orosimbo Andrade de Almeida Rego

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica, Bloco M
38400-902, Uberlândia-MG, Brasil
E-mail: oaarego@ufu.br

Cassius Ricardo Nascimento Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica, Bloco M
38400-902, Uberlândia-MG, Brasil
E-mail: cassius@mecanica.ufu.br

***Resumo:** No presente trabalho é apresentada uma análise do desempenho de uma instalação frigorífica de grande porte através do estudo do comportamento do seu coeficiente de performance (COP) em função de diversos parâmetros operacionais da instalação. O COP da instalação é obtido através da modelagem do ciclo frigorífico e da carga térmica a que a mesma está submetida.*

Palavras-Chaves: *Refrigeração, Simulação Numérica*

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos fica evidente a preocupação mostrada pelas empresas com o controle do consumo de energia. Essa preocupação se justifica devido ao aumento da demanda não acompanhada do correspondente aumento de disponibilidade.

Isso fez com que o custo com energia tenham aumentado além da crescente preocupação que deve existir com os impactos ambientais causados por esse aumento do consumo. Recentemente verificou-se o racionamento de energia elétrica devido à queda de nível dos reservatórios das hidroelétricas, causado pela escassez de chuvas.

Na região de Uberlândia funcionam um número grande de instalações frigoríficas de grande porte que operam com amônia como fluido frigorífico e são grandes consumidores de energia elétrica para acionar os compressores. Todas elas tiveram que desenvolver projetos de economia de energia para atender às cotas de consumo estabelecidas pelas concessionárias. Uma dessas instalações de grande indústria de carnes salgadas e embutidos é objeto de nossa análise.

O presente trabalho tem a finalidade de avaliar como influenciam no coeficiente de performance dessa instalação diversos parâmetros operacionais de funcionamento do ciclo térmico, as condições ambientais e a movimentação de produtos nas câmaras frias verificou quais desses parâmetros que influenciam de maneira relevante no COP.

De posse dessa análise pode-se estabelecer estratégias de funcionamento e de procedimentos na instalação visando que a mesma opere com o melhor COP possível atendendo a carga térmica a que está submetida e verificando onde se pode atuar para atender as metas de consumo de energia estipuladas.

2. O CICLO FRIGORIFICO

A Figura 1 apresenta de maneira esquemática a planta frigorífica que opera com amônia num ciclo de compressão em estágios com resfriamento intermediários e subresfriamento e com três níveis de temperatura de evaporação nos separadores de liquido. A condensação é feita num único nível de pressão através de uma bateria de condensadores evaporativos.

Os separadores de liquido são montados cada um com dois vasos em paralelo, o que permite a operação e a manutenção adequada dos mesmos.

No separador de liquido SL1, a amônia opera a uma temperatura que oscila em torno dos -45°C e é bombeada para atender a demanda de frio dos túneis de choque térmico de carcaças, nos túneis de congelamento helicoidais e nos túneis contínuos longitudinais, que operam com temperaturas internas em torno dos -35°C .

O segundo separador de liquido SL2, opera a -35°C aproximadamente e fornece amônia a esta temperatura as câmaras de estocagem de produtos. Essas câmaras em numero de 56 aproximadamente na fabrica, operam em diversos níveis de temperatura variando de -30°C ate 5°C .

O separador de liquido SL3 opera a -12°C e a amônia produzida é consumida basicamente para a produção de água gelada com glicol aproximadamente a -5°C que é utilizada em “fan-coils”, para o condicionamento do ar dos ambientes da fabrica (abate, desossa, industrialização e circulação) que operam com temperatura e umidade controladas.

Nos dois primeiros níveis de evaporação (-45°C e -35°C), a compressão é feita em dois estágios, primeiro dos separadores de líquidos para o resfriador intermediários, e destes para o condensador e deposito de refrigerante.

No nível de evaporação de -12°C a compressão é feita num único estagio do separador de liquido para o condensador.

A amônia que alimenta os dois primeiros separadores de liquido sofre um processo de subresfriamento no resfriador intermediário, 11 para 12, o que não ocorre no terceiro separador de liquido.

Os estágios de compressão são realizados em compressores de parafuso, instalados em paralelo com a refrigeração do óleo lubrificante sendo feita por amônia à alta pressão que é depois recondensada. A instalação esta devidamente instrumentada em termos industriais, para atender os aspectos de controle de operação do sistema, sendo que a carga de refrigerante nos compressores é regulada, de acordo com a demanda de frio, pelo nível de pressão nos separadores de liquido.

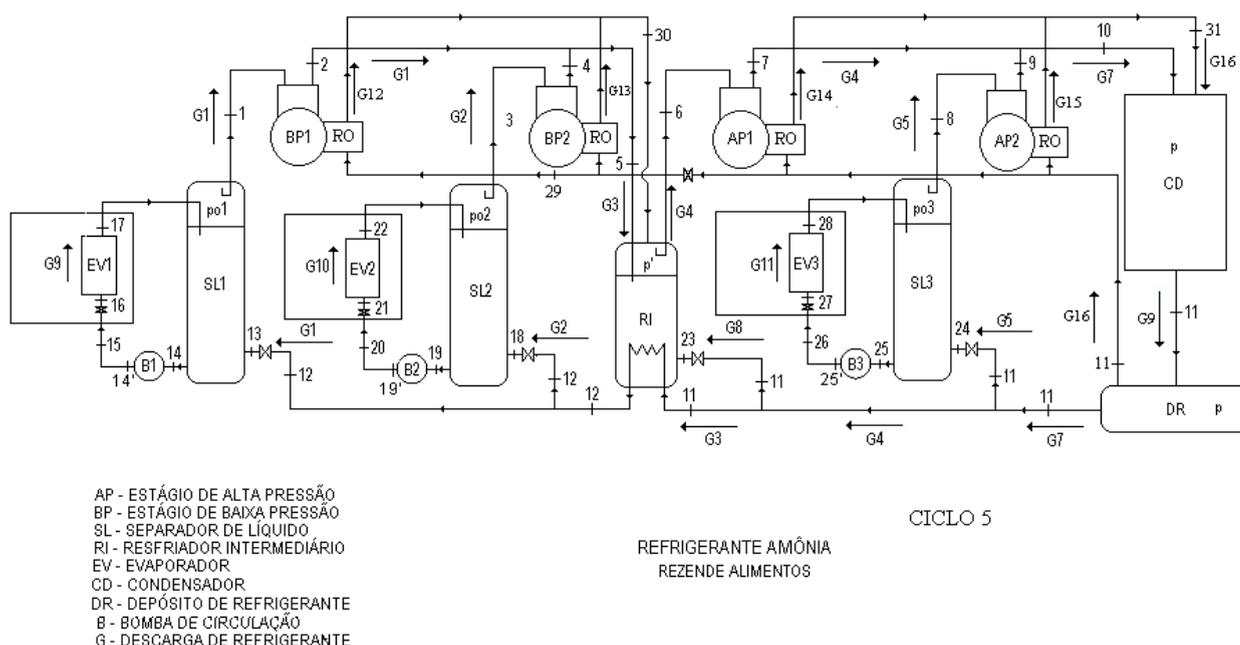


Figura 1 Ciclo frigorífico

3. A CARGA TÉRMICA

A carga térmica a que a instalação esta submetida foi estimada levando-se em consideração as seguintes fontes de calor:

- a) Penetração de calor através das paredes das câmaras que foi formulada em função da temperatura ambiente considerando-se as dimensões das câmaras, as características do isolamento das suas paredes e as temperaturas de operação.
- b) Carga térmica devido ao processamento de produtos e estocagem nas câmaras que foi equacionada em função das condições de circulação dos mesmos nos diferentes níveis de temperatura da fábrica.
- c) Infiltração de ar externo para o interior das câmaras estimada através da dimensão das mesmas e do tamanho e tempo de aberturas das portas
- d) Energia dissipada pelos ventiladores dos evaporadores no interior das câmaras considerando-se a potência dos motores, seus rendimentos estimados e o tempo de funcionamento diário dos mesmos
- e) Degelo, estimado através das variações de temperatura ocorrida nas câmaras, nos produtos e equipamentos existentes nos seu interior após este processo
- f) Iluminação das câmaras e instalações
- g) Presença e movimentação de pessoas nos diversos ambientes condicionados da fábrica

4. O MODELO

O modelo desenvolvido permite avaliar para o ciclo, o coeficiente de performance teórico, COP, definido por:

$$\text{COP} = (\text{CT}_1 + \text{CT}_2 + \text{CT}_3) / (\text{PBP}_1 + \text{PBP}_2 + \text{PAP}_1 + \text{PAP}_2)$$

Onde:

CT_i = Carga térmica atendida pelo separador de líquido SL_i .

PBP_i = Potência teórica consumida no estagio de baixa pressão PBi .

PAP_i = Potência teoria consumida no estagio de alta pressão APi .

O modelo foi desenvolvido através de balanço de energia nos diversos componentes do ciclo para regime permanente de onde foram obtidos também os valores das potencias consumidas, calores trocados e fluxo de refrigerante nos diferentes pontos do ciclo.

A carga térmica foi modelada também em regime permanente com propriedades constantes e de maneira unidimensional considerando os fatores descritos no item da carga térmica.

De posse das propriedades termodinâmicas da amônia que opera como fluido refrigerante, obtidas em cada parte do ciclo em função da pressão e da temperatura, obteve-se através das leis de conservação os fluxos de refrigerantes nos diferentes pontos da instalação.

De posse do modelo matemático acima descrito utilizou-se o software “Engineering Equation Solver” para obter-se as propriedades termodinâmicas da amônia e o valor do COP formulado.

5. RESULTADOS

Com a finalidade de se visualizar os níveis de operação, a Tabela 1 apresenta os valores das propriedades termodinâmicas dos diversos pontos de um ciclo padrão, com base no qual se faz a análise da influência de parâmetros operacionais no seu comportamento. As propriedades desse ciclo padrão são aquelas mais freqüentes no funcionamento da instalação quando em condições

normais de operação. Como ilustração, foram estimadas as perdas de carga nas linhas de circulação de amônia.

A Tabela 2 apresenta os valores das descargas de amônia nos diversos pontos do ciclo, obtidas considerando-se uma carga de 10 toneladas de produto por hora em cada nível de temperatura e condições ambientes de 28°C e 60% de umidade relativa.

Os valores das descargas de circulação de amônia nos evaporadores, EV1, EV2 e EV3, foram obtidos admitindo-se uma taxa de evaporação nos mesmos respectivamente de 10%, 12% e 5%.

Tabela 1: Propriedades termodinâmicas dos pontos do ciclo frigorífico

Ponto	Pressão (Pascal)	Temperatura (°C)	Entalpia (KJ/Kg)	Entropia (KJ/Kg °C)	Volume (m3/Kg)	Título
01	.5437	-45	1383	6.061	2.013	1
02	2.68	30	1530	5.856	.5373	
03	.9292	-35	1399	5.875	1.22	1
04	2.68	30	1530	5.856	.5373	
05	2.68	30	1530	5.856	.5373	
06	2.68	-12	1432	5.508	.4518	1
07	15.59	80	1594	5.239	.1006	
08	2.68	-12	1432	5.508	.4518	1
09	15.59	80	1594	5.239	.1006	
10	15.59	80	1594	5.239	.1006	
11	15.59	22.95	291.6	1.095	.001651	
13	12	17.95	267.4	1.013	.001631	
13	.5437	-45	267.4	1.173	.4148	.2055
14	.5437	-45	-21.1	-.09136	.001438	0
15	2.044	-45	-20.88	-.09136	.001438	
16	.5437	-45	-20.88	-.09041	.001747	.0001538
17	.5437	-45	119.3	.05239	.2026	.1
18	.9292	-35	267.4	1.124	.2191	.1786
19	.9292	-35	21.35	.09046	.001463	0
20	2.129	-35	21.52	.09046	.001463	
21	.9292	-35	21.52	.0912	.001619	.0001275
22	.9292	-35	186.6	.7845	.1476	.12
23	2.68	-12	291.6	1.143	.05926	.1282
24	2.68	-12	291.6	1.143	.05926	.1282
25	2.68	-12	124	.5005	.001528	0
26	3.78	-12	124.1	.5005	.001528	
27	2.68	-12	124.1	.5011	.001586	.0001286
28	2.68	-12	189.3	.7509	.02404	.05

Tabela 2 – Descarga de amônia em toneladas/hora como especificadas na Figura 1

G1	G2	G3	G4	G5	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15
4,04	3,35	7,40	8,19	3,52	11,7	0,79	3,22	2,29	6,15	0,18	0,02	0,57	0,25

A partir deste ciclo básico e utilizando-se o modelo desenvolvido, apresenta-se a seguir uma análise da influencia de alguns parâmetros de operação no COP da instalação.

Um importante fator a ser analisado são as condições de resfriamento do processo de compressão. A intensidade deste resfriamento é influenciada por condições de projeto, de operação e, fica diretamente caracterizada pela temperatura de descarga do compressor. Quanto mais baixo esses valores, mais intenso terá sido o processo de refrigeração. As figuras 2 e 3 a seguir apresentam respectivamente as variações do COP da instalação, em função das temperaturas dos compressores de alta e de baixa.

As Figuras 2 e 3 apresentam a influência provocada no COP do ciclo padrão ao ocorrerem variações na temperatura de descarga dos compressores de baixa e de alta respectivamente. Essas variações são causadas por alterações no processo de resfriamento do óleo dos compressores.

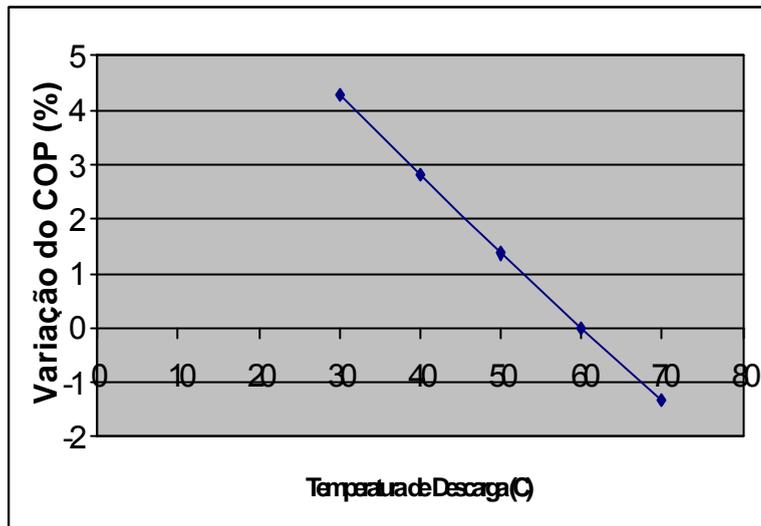


Figura 2: Influência do processo de resfriamento no estágio de baixa pressão.

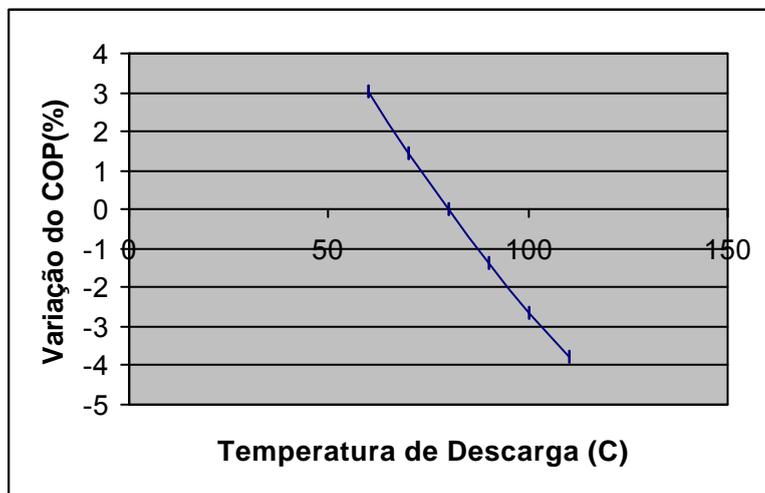


Figura 3: Influência do processo de resfriamento no estágio de alta pressão.

Pode-se constatar através da figura 2 que uma variação de 40 °C na temperatura de descarga dos compressores de baixa pode significar teoricamente, uma variação de 6% no COP. A variação imposta no processo de resfriamento do estagio de alta pressão, Figura 3, mostra que uma de 50 °C na temperatura de descarga dos compressores provoca uma variação de 8% no COP.

A Figura 4, mostra a variação do COP com a temperatura de condensação que pode ser conseguida através de regulagem do sistema onde pode-se constatar como esperado, as grandes variações causadas no COP da instalação ao variarmos a pressão de operação do condensador.

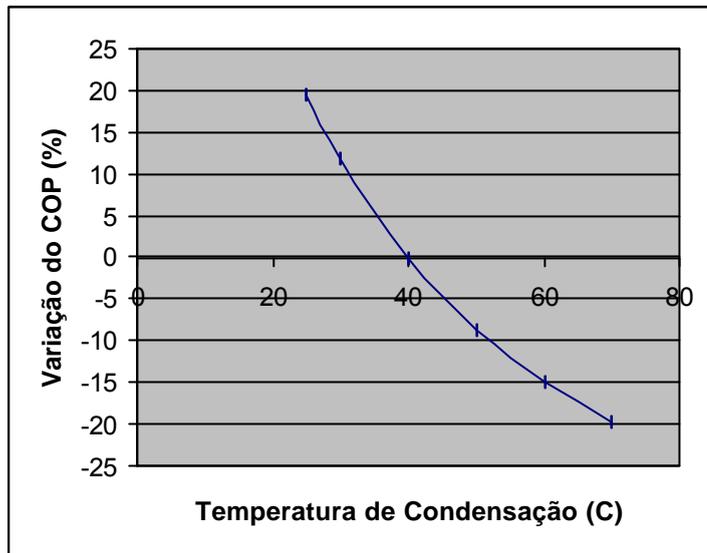


Figura 4 : Influência da temperatura de condensação.

Uma outra análise que pode ser feita utilizando o modelo, é a possível transferência de carga térmica de um nível de temperatura de evaporação para outro. Isto pode ser feito, por exemplo, transferindo o local de processamento e estocagem de produtos quando possível.

A Figura 5 mostra o ganho no COP da instalação ao transferirmos gradativamente a carga térmica do separador de líquido SL1 para o SL3 que opera com temperatura de evaporação mais alta.

Esta influencia é bastante significativa ao constataremos através da figura que o valor do COP pode variar até 18% quando transferimos completamente os produtos processados com a amônia do separador de líquido SL1 para o SL3 que opera com temperatura mais alta.

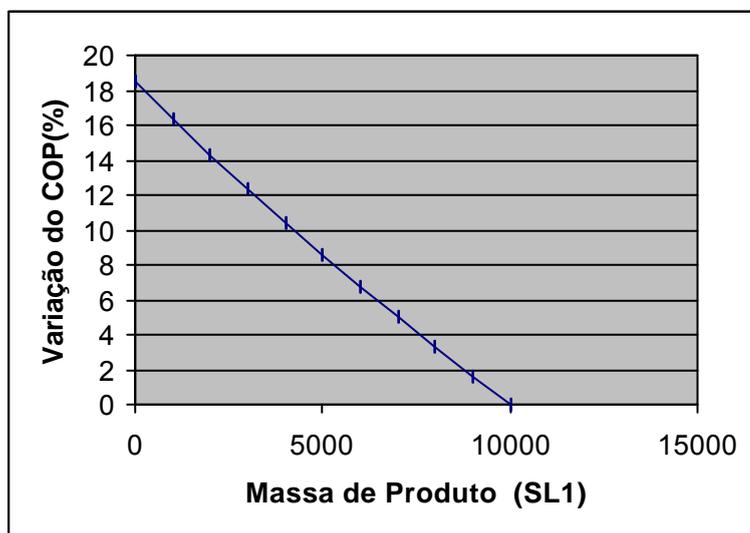


Figura 5, Influência do movimentação de massa de produto.

Variações das condições ambientes, temperatura e umidade relativa, provocam alterações tanto na carga térmica estimada como também nas condições de operação do ciclo já que o processo de condensação, que é realizado em condensadores evaporativos, é altamente afetado pelas condições atmosféricas.

Através da Figura 6 pode-se verificar que uma alteração de 10°C na temperatura ambiente pode provocar alterações no COP de até 4% como mostrado.

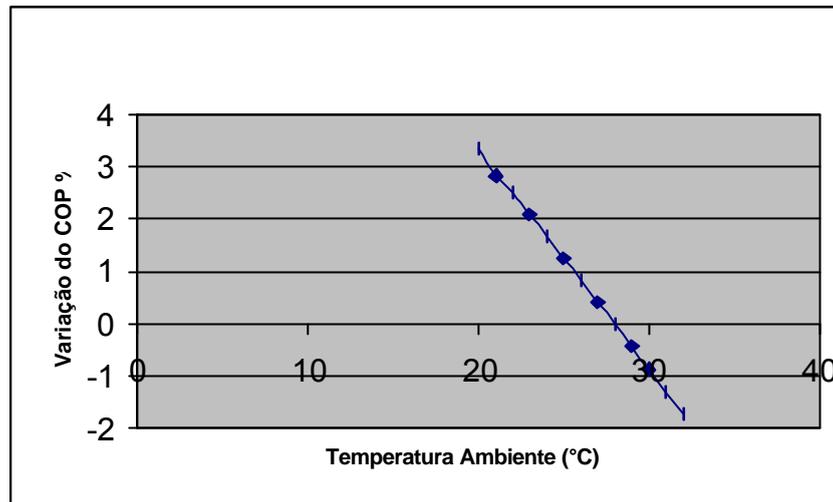


Figura 6: Influencia da Temperatura Ambiente.

6. CONCLUSÃO

Apesar da simplicidade do modelo, desenvolvido para uma simulação em regime permanente, o mesmo permite avaliações preliminares que podem contribuir na tomada de decisões no que diz respeito a parâmetros térmicos de operação e de estratégia de produção da fábrica visando diminuir os custos e atender as cotas estabelecidas com energia elétrica na produção do frio. Esta análise preliminar permite também constatar a importância da refrigeração no processo de compressão. O modelo está sendo aprimorado considerando o regime não regular de operação do ciclo e incluindo no mesmo outros equipamentos, sistemas e a carga térmica nos diversos pontos de consumo de frio.

7. REFERENCIAS

- Stoecker, W. F. e Jones, W. F.; “Refrigeração e Ar Condicionado”; Ed.McGraw-Hill, São Paulo, 1996
- Van Wylen, G. J., “Fundamentos da Termodinâmica Clássica”, Ed.McGraw-Hill, São Paulo, 1996
- Yasuda, H.; Touber, S. and Machielsen, C.H.M., “Simulation Model of a Vapor Compression - Refrigeration System”; ASHRAE Transactions; Vol. 89: Pt. 2A and B: 1983.]
- EES, Engineering Equation Solver, 2001

TITLE The analysis of the influence of operational parameters on the performance of a great frigorifical plant

Orosimbo Andrade de Almeida Rego e Cassius Ricardo Nascimento Ferreira

Federal University of Uberlândia – Department of Mechanical Engineering

Abstract: *The behavior of the performance of a great frigorific plant is presented considering several operational parameters of the instalation. The analisys is done studying the coeficiente of performance COP of the refrigerating cycle associated with the thermal load that the plant is submitted.*

Keywords : Refrigeration, Numerical Simulation