**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE HIDRO-EJETORES
FUNCIONANDO COMO BOMBA DE VÁCUO**

EDUARDO FERRAZ DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo
Novembro - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Oliveira, Eduardo Ferraz de
048a Análise do desempenho de hidro-ejetores funcionan
do como bomba de vácuo. Piracicaba, 1993.
65p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Bomba centrífuga 2. Bomba à vácuo 3. Hidro-eje-
tor - Desempenho - Análise 4. Irrigação - Equipamento
I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi-
racicaba

CDD 631.7

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE HIDRO-EJETORES
FUNCIONANDO COMO BOMBA DE VÁCUO**

EDUARDO FERRAZ DE OLIVEIRA

Aprovado em: 14.12.1993

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

ESALQ/USP

Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova

ESALQ/USP

Prof. Dr. Mario Benincasa

FCAV/UNESP

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel
Orientador

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS E ÍNDICES	xi
RESUMO	xiii
SUMMARY	xiv
 1. INTRODUÇÃO	 1
 2. REVISÃO DE LITERATURA	 5
 3. MATERIAL E MÉTODOS	 11
3.1. Material	11
3.1.1. Bombas Centrífugas	11
3.1.2. Ejetores	12
3.1.3. Medidores de Vazão	15
3.1.3.1. Medidor de Vazão Magnético Indutivo (CONAUT)	15
3.1.3.2. Tubo de Venturi	15
3.1.3.3. Medidores para gás "LAO"	16

3.1.3.4. Anemômetro	16
3.1.4. Medidores de Pressão	16
3.2. Métodos	17
3.2.1. Esquemas de Montagem dos Equipamentos	17
3.2.2. Parâmetros de Desempenho	17
3.2.2.1. Curva Vazão de Sucção Versus Pressão de Sucção	26
3.2.2.2. Rendimento (ⁿ)	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Dos Ensaiois com o Ejetor 1 succionando Ar	32
4.2. Dos Ensaiois com o Ejetor 1 succionando Água	38
4.3. Dos Ensaiois com o Ejetor 2 succionando Ar	46
4.4. Dos Ensaiois com o Ejetor 2 succionando Água	53
4.5. Considerações Gerais	62
5. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1	Esquema funcional de um Ejetor 6
Figura 2	Princípio de funcionamento de um Ejetor 7
Figura 3	Corte longitudinal do Ejetor 1 13
Figura 4	Corte longitudinal do Ejetor 2 14
Figura 5	Montagem para ensaios com o Ejetor 1 succionando ar 18
Figura 6	Montagem para ensaios com o Ejetor 2 succionando ar 19
Figura 7	Tubo de PVC rígido com anemômetro 20
Figura 8	Montagem para ensaios com o Ejetor 2 succionando água 21
Figura 9	Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 1 e a bomba MARK BDS9 para succionar ar 22
Figura 10	Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 1 e a bomba MARK BDS9 para succionar água 23
Figura 11	Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 2 e a bomba KSB-WL 80/5 para succionar ar 24
Figura 12	Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 2 e a bomba KSB-WL 80/5 para succionar água 25
Figura 13	Corte longitudinal de um Ejetor 28
Figura 14	Vazão de sucção de ar em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a. 36
Figura 15	Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de ar para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a. 39
Figura 16	Vazão de sucção de água em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação

	Página
de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a.	45
Figura 17 Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de água para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a.	47
Figura 18 Vazão de sucção de ar em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.	51
Figura 19 Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de ar para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.	54
Figura 20 Vazão de sucção de água em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.	59
Figura 21 Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de água para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.	61

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 Características das Bombas Centrífugas	11
Quadro 2 Características dos Ejetores	12

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.	33
Tabela 2 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.	33
Tabela 3 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.	34
Tabela 4 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.	34
Tabela 5 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.	35
Tabela 6 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 60 m.c.a.	35
Tabela 7 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 70 m.c.a.	35
Tabela 8 Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de ar succionado versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1	37
Tabela 9 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando	

	Página
água, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.	40
Tabela 10 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.	40
Tabela 11 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.	41
Tabela 12 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.	41
Tabela 13 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.	42
Tabela 14 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 60 m.c.a.	42
Tabela 15 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 70 m.c.a.	43
Tabela 16 Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de água succionada versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1	44
Tabela 17 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.	48
Tabela 18 Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.	48

Tabela 19	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.	49
Tabela 20	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.	49
Tabela 21	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.	50
Tabela 22	Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de ar succionado versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2	52
Tabela 23	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.	55
Tabela 24	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.	55
Tabela 25	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.	56
Tabela 26	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.	56
Tabela 27	Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.	57
Tabela 28	Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de água succionada versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2	60

LISTA DE SÍMBOLOS E ÍNDICES

E	- energia mecânica total por unidade de peso líquido e é designada por carga total [m]
Z	- cota geométrica em relação a um plano horizontal de referência e representa a energia de posição da unidade de peso líquido [m]
P/γ	- energia de pressão da unidade de peso líquido designada por altura piezométrica [m]
$V^2/2g$	- energia cinética por unidade de peso líquido designada por altura cinética [m]
NPSH	- Net Positive Suction Head (altura piezométrica útil absoluta na aspiração) [m]
m	- relação entre áreas (s/S) ou diâmetros (d/D). É uma característica do ejetor ($m < 1$) [-]
m_i	- massa do fluído [Kg]
m.c.a.	- metro de coluna de água [m]
H_i	- nível energético (pressão) [m.c.l.]
V_i	- velocidade do fluído [m/s]
Q_i	- vazão do fluído [m ³ /s]
H	- altura líquida de elevação [m]
h	- altura líquida motriz [m]
μ	- H/h [-]
Q_2	- vazão de elevação [m ³ /s]
Q_1	- vazão motriz [m ³ /s]
δ	- Q_2/Q_1 [-]
η	- rendimento do ejetor ($\mu \cdot \delta$) [-]
N	- potência teórica [C.V.]

- D_i e d_i - diâmetro [m]
 L_i - comprimento [m]
 A_i - área [m²]
 K - constantes diversas [-]
 θ - volume [m³]

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE HIDRO-EJETORES FUNCIONANDO COMO BOMBA DE VÁCUO

Autor: EDUARDO FERRAZ DE OLIVEIRA

Orientador: PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL

RESUMO

A escorva de grandes bombas centrífugas, destinadas a condução ou elevação mecânica da água e instaladas sob condições de sucção negativa, tem sido realizada com o emprego de ejtores, através da criação de vácuo na canalização de aspiração e na própria bomba.

Nem sempre, porém, se emprega o ejtor adequado para a realização desse trabalho, em virtude da escassez de informações e dados técnicos a respeito.

A fim de contribuir para a solução desse problema, procurou-se avaliar o desempenho de aparelhos a jato acionados hidráulicamente, e realizando o trabalho de bomba de vácuo. Para tal, conduziram-se ensaios com dois tipos de hidro-ejtores, disponíveis no mercado, com parâmetros característicos $m=0,35$ e $m=0,52$, respectivamente, alimentados, cada qual, por uma bomba centrífuga, buscando conhecer os volumes de ar e de água arrastados, os rendimentos desses ejtores, a relação vazão de sucção/pressão de sucção, para as diversas pressões e vazões de alimentação, previamente estipuladas.

Os resultados obtidos permitiram estabelecer conhecimentos técnicos esclarecedores a respeito do funcionamento de tais dispositivos, possibilitando uma escolha apropriada para os seus diferentes empregos, bem como, as condições ideais de operação.

Para avaliação do rendimento dos ejtores estudados foi deduzida a Equação 21, que se mostrou adequada em todas as condições de ensaio.

ANALYSIS OF THE HYDRO-EJECTORS PERFORMANCE FUNCTIONING AS VACUUM PUMPS

Author: EDUARDO FERRAZ DE OLIVEIRA

Adviser: PROF. DR. TARLEI ARRIEL BOTREL

SUMMARY

The primer of big centrifugal pumps, designed to water conducting or water mechanical elevation and installed under conditions of negative suction has been accomplished with the use of ejectors through the creation of vacuum in the system of pipelines of suction stroke and in the pump itself.

The adequate ejector is not always used in carrying out this work due to the lack of information and technical data about it.

In order to contribute to the solution of this problem it was evaluated the performance of jacto machines driven hydraulically and doing the work of the vacuum pump. For this purpose, tests were made with two types of hydro-ejectors available in the market with characteristic parameters $m = 0,35$ and $m = 0,52$ respectively, jed by a centrifugal pump seeking for the volumes of air and water dragged, the efficiency of these ejectors, the relation suction flowing/suction pressure for several pressures and feeding flowing, previously established.

The obtained results permit to establish clarifying technical knowledge about the performance of such devices and making possible an appropriate choice to their different applications as well as ideal operating conditions.

To the valuation of the ejectors efficiency, the Equation 21 was deduced and it has been adequate in all the testing conditions.

1. INTRODUÇÃO

A questão de como se proceder para transportar água à curtas, médias e longas distâncias e ou elevações, desde o início da civilização tem sido uma constante preocupação do homem, o que deu origem aos estudos e construção de máquinas motrizes e elevatórias, de potências e rendimentos os mais variáveis.

CARLIER (1968), com base na conhecida equação fundamental de energia existente nas massas fluídas em movimento

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

considera que é possível distinguir as máquinas elevatórias, simplesmente pelo seu desempenho particular a cada um dos três termos do segundo membro (posição, pressão e velocidade) e propõe a seguinte classificação, que corresponde, aproximadamente, a ordem cronológica em que elas foram inventadas e utilizadas.

a) **Máquinas do 1º Tipo** - São aquelas cuja elevação mecânica do líquido resulta, essencialmente, de uma variação da cota altimétrica Z da massa líquida considerada, sendo que a pressão e a velocidade variam relativamente pouco ou não se alteram. Essas máquinas assumem, construtivamente, uma altura igual a altura de elevação, operam pelo enchimento contínuo de recipientes em movimento ou por retenção da água por capilaridade e são, geralmente, as mais antigas que se tem conhecimento (Nora Chinesa, Parafuso de Arquimedes, Sistema de Correntes, etc.).

b) **Máquinas do 2º Tipo** - São aquelas cuja elevação mecânica do líquido resulta, sobretudo, de um aumento de pressão da massa líquida. Trata-se de máquinas, organicamente, mais complicadas, porém de dimensões muito reduzidas, quando comparadas à altura de elevação. São apropriadamente chamadas "bombas" e incluem-se aqui as de pistão, que podem ser alternativas, quando o movimento do pistão é retilíneo, rotativas e semi-rotativas, para movimento circular do pistão, no caso, rotor.

c) **Máquinas do 3º Tipo** - São aquelas cuja elevação mecânica do líquido resulta, principalmente, de uma variação da velocidade de escoamento, imediatamente transformada em pressão. Pertencem a este grupo o carneiro hidráulico, os aparelhos a jato e as bombas centrífugas, estas últimas, as mais largamente empregadas por apresentarem uma grande variação do campo de trabalho (altura manométrica e vazão), maior número de velocidades de operação, pequenas dimensões construtivas e fácil manutenção.

Os aparelhos a jato, escopo principal deste trabalho, são definidos, segundo TROSKOLANSKI (1977), como um dispositivo apropriado para, simultaneamente, aspirar e recalcar um fluído (líquido, gás ou vapor) ou uma mistura fluído-sólido, por aplicação prática do fenômeno de Venturi, utilizando um órgão de restrição seccional à passagem da corrente fluída, alimentado por um outro fluído qualquer, denominado fluído primário ou fluído motor.

Ainda, segundo o citado autor, os aparelhos a jato se dividem, fundamentalmente, em dois grupos: ejetores e injetores. Os ejetores se prestam para aspirar um fluído de um local sob pressão qualquer e recalcar-lo para outro local sujeito à pressão atmosférica ou ligeiramente superior. Os injetores, ao contrário, são empregados para recalcar um fluído para um local sujeito a uma pressão superior à pressão atmosférica.

De acordo com o fluído que alimenta o órgão de restrição, os aparelhos a jato se dividem em: a) aparelhos a jato primário de líquido (geralmente água); b) aparelhos a jato primário de gás, e c) aparelhos a jato primário de vapor.

O ejetor consta, em essência, de três segmentos sequenciais de formas cônica-convergente, cilíndrica e cônica-divergente, sendo que na porção cilíndrica está inserido um tubo aspirador.

O fluido motor que vai produzir a sucção desejada, ao atravessar o ejetor, no sentido bocal convergente para o divergente, atinge na seção cilíndrica, que é a de menor área, velocidade máxima e, por conseguinte, em decorrência da conservação de energia, a pressão abaixa. Com esta redução de pressão é criada no tubo aspirador uma condição de pressão inferior à pressão reinante externamente, provocando, conseqüentemente, o arraste de fluido para o interior do ejetor.

Os ejetores pelas vantagens que apresentam, como a ausência de elementos móveis, simplicidade de construção, dispensa de lubrificação, rapidez para ser colocado em serviço e uma gama razoável de vazões, estão, cada vez mais, de uso difundido nos domínios das técnicas e da indústria.

Assim é que o princípio de conservação da energia tem sido utilizado em carburadores, embaladores a vácuo, recipientes de instalações industriais de secagem, certos condensadores de vapor, na evacuação de água de esgoto, na exaustão de gases nocivos, na drenagem de áreas inundadas, no bombeamento de poços profundos, etc.

Também nos sistemas de elevação mecânica de água por intermédio de grandes conjuntos de bombeamento, instalados em condições de sucção negativa com $NPSH_d$ superior ao $NPSH_r$, torna-se necessário, inicialmente, o preparo da bomba para o seu funcionamento, procedendo-se a substituição do ar, contido no seu interior e na canalização de sucção, pela água, operação essa conhecida como escorva e que, frequentemente, é realizada com o emprego de alguns tipos de ejetores disponíveis no comércio.

Ocorre, porém, na prática, situações em que a escolha desses ejetores para a operação de escorva de bombas se dá de forma empírica, em virtude da inexistência de informações detalhadas a seu respeito.

Procurando dar subsídios aos projetistas e interessados nesses tipos de ejetores que funcionam como bomba de vácuo, no presente trabalho foram realizados vinte e quatro ensaios de laboratório, com dois tipos de ejetores ($m = 0,35$ e $m = 0,52$), encontrados no mercado, visando estabelecer as condições de pressão e de vazão da água de alimentação que possibilitem a adução de maior volume de ar ou de água, a uma dada pressão de sucção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

DANIEL BERNOULLI, em 1738, formulou a lei principal do movimento dos líquidos, estabelecendo a equação fundamental, mais tarde chamada de Equação de BERNOULLI, que relaciona, entre si, as energias de velocidade, de pressão e de posição, evidenciando o princípio da conservação de energia.

A Equação de BERNOULLI, constitui-se em um instrumento fundamental da hidrodinâmica e, como tal, permite a solução de inúmeros problemas de ordem prática. Um exemplo da sua aplicação é o emprego de ejetores funcionando como bomba de vácuo.

Diversos trabalhos teóricos e experimentais têm sido desenvolvidos por pesquisadores sobre o fenômeno da ejeção, buscando melhor compreensão sobre as técnicas para dimensionamento dos ejetores, particularmente, funcionando em série com bombas centrífugas.

A aplicação ampla de bomba-ejetor é de desenvolvimento relativamente recente e suas características, possibilidades e limitações, não são conhecidas de forma tão geral como as de outros tipos de bombas.

Atualmente é freqüente o uso de ejetores em conjunto com bombas centrífugas ou de outros tipos, para a extração de água em poços profundos. Como a altura geométrica de sucção dessas bombas está limitada pelas pressões de vapor e atmosférica, em condições de profundidade superior a esse limite utiliza-se um ejetor para transmitir à massa líquida em movimento ($m_1 + m_2$) uma parcela de energia suficientemente grande, que irá garantir o funcionamento da bomba sem ocorrência de cavitação.

PETERS (1959), explica o princípio de funcionamento de um ejetor utilizando-se da Figura 1, que representa a vazão da massa m_1 de fluído, de nível

energético H_1 (pressão) atravessando um bocal B, em regime de escoamento permanente. Parte da energia desse jato é cedida, principalmente, na câmara de mistura M à vazão de fluido m_2 que atravessa o bocal S, inicialmente num nível energético H_2 , mais baixo que H_1 . Na saída da câmara M, as duas massas misturadas (m_1+m_2) têm quase a mesma velocidade V_3 sob o nível energético H_3 . A velocidade V_3 é reduzida no difusor D para o valor V_3 e, na saída do ejeter, a massa $m_3 = m_1+m_2$ assume o nível energético H_3 .

Figura 1 - Esquema funcional de um Ejeter

Tendo em vista a Figura 2, CARLIER (1968) procurou demonstrar o princípio de funcionamento de um ejeter sob carga constante. Observa-se que o fluido motor (água) ao se deslocar do nível superior RS até o nível PQ, com desnível h e vazão Q_1 , produz a elevação H de uma vazão de água Q_2 , do nível inferior MN até aquele mesmo nível PQ.

Figura 2 - Princípio de funcionamento de um Ejetor sob carga constante.

O funcionamento desses aparelhos a jato se baseia no fato de que a diminuição, mesmo tumultuada ou turbulenta, de uma velocidade V_1 a uma velocidade V_x , produz, conseqüentemente, um aumento de pressão. Mas, enquanto que uma diminuição progressiva de velocidade produzirá um aumento de pressão correspondente à totalidade da diferença das alturas representativas das velocidades $\left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_x^2}{2g}\right)$, a diminuição tumultuosa causará um aumento menor e a diferença é dissipada na massa líquida sob a forma de calor.

Para reduzir essas perdas adapta-se um bocal divergente, depois de B, no sentido da corrente fluída, a fim de restabelecer progressivamente a velocidade de V_x para V e recuperar, ao máximo possível, a pressão resultante dessa complementar diminuição de velocidade. Com efeito, nos perfis estudados o rendimento desse bocal jamais alcança o valor unitário e permanece compreendido entre 0,7 e 0,85.

Acrescenta ainda CARLIER que o rendimento global do ejedor, admitindo comuns o fluído motor e o de sucção, é dado por:

$$\eta = \frac{Q_2 H}{Q_1 h} = \mu \delta$$

E que as curvas características de $H(Q_2)$ e $\eta(Q_2)$, sob uma carga motriz (h) constante, são semelhantes àquelas das bombas centrífugas, assim como, também o rendimento é sempre pequeno, no máximo 0,3.

Para um dado ejedor, o rendimento máximo é obtido para o valor máximo do produto $\mu \cdot \delta$, isto é, para $\mu = \frac{\mu_0}{2}$ e $\delta = \frac{\delta_0}{2}$, sendo μ_0 o valor de μ para $\delta = 0$ e δ_0 o valor de δ para $\mu = 0$.

HIRSCHMANN (1958) enquadra os ejedores no grupo de bombas com processo dinâmico de trabalho, segundo o método de impulso. O seu princípio de funcionamento se baseia na transformação de energia e, portanto, qualquer valor de suas características depende da variação de outros valores. Assim, variando-se a altura de elevação, conseqüentemente, ocorrerão significativas mudanças na vazão.

Nos casos de elevação de água por meio de fontes hidráulicas de energia, pode-se obter o rendimento do conjunto envolvido pela relação entre a potência teórica de elevação (N_1) e a potência teórica motriz (N), ou seja:

$$\eta = \frac{N_1}{N} \quad \text{sendo} \quad N_1 = \frac{Q_2 \cdot H \cdot \gamma}{75} \quad (\text{CV}) \quad \text{e} \quad N = \frac{Q_1 \cdot h \cdot \gamma}{75} \quad (\text{CV})$$

$$\text{teremos } n = \frac{Q_2 H}{Q_1 h}$$

na qual, Q_1 é a vazão motriz disponível. Logo, a vazão Q_2 que se pode elevar será:

$$Q_2 = n \frac{Q_1 h}{H}$$

Para o caso dos ejetores o rendimento depende não só das alturas de elevação e de queda, mas também da altura de aspiração. Geralmente estas alturas são expressas pelas pressões correspondentes, significando p_e a pressão da água motriz na entrada do ejetor, p_s a pressão imediatamente depois do ejetor e p_a a pressão reinante na câmara de aspiração.

Segundo G.FLÜGEL¹, citado por HIRSCHMANN (1958), qualquer ejetor de água tem como valor característico o quociente μ , dado por

$$\mu = \frac{P_s - P_a}{P_e - P_s}$$

Se Q_1 significa a quantidade de água motriz e Q_2 a quantidade de água a ser elevada, o respectivo quociente se indica por

$$\delta = \frac{Q_2}{Q_1}$$

e, então, o rendimento do ejetor será:

$$n = \mu \cdot \delta$$

O mesmo HIRSCHMANN (1958) propõe métodos simples, analíticos e gráficos, para determinar, com aproximação, sem o auxílio de ensaios de laboratório, a característica altura-vazão de um conjunto bomba-ejetor, partindo das características particulares da bomba e do ejetor.

¹ G.FLÜGEL, VDI-ZEITSCHRIFT Bd. 83, Nr.38.

Segundo PETERS (1959), a construção de ejetores de grande capacidade teve lugar, pela primeira vez, na Austria, com as experiências realizadas inicialmente por STEINWENDER e, mais tarde, por SCHULZ e FASOL.

Tais experiências constavam, em essência, de avaliações do desempenho de um sistema constituído por uma fonte em cota elevada, fornecendo água e energia por intermédio de ejetores a uma fonte de nível mais baixo, e a água de ambas encaminhada para um reservatório intermediário que, por sua vez, alimentava uma usina hidroelétrica. Nesses trabalhos, com ejetores de grandes dimensões e Número de REYNOLDS elevado, foi possível alcançar rendimento da ordem de 0,38.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os trabalhos aqui relatados foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/Universidade de São Paulo, situado no Município de Piracicaba, Estado de São Paulo, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22°42'30"S, longitude 47°30'00"W e altitude média de 576m.

3.1. Material

3.1.1. Bombas Centrífugas

Para o controle das vazões e alturas manométricas requeridas no experimento, foram utilizadas duas bombas centrífugas, disponíveis no Laboratório de Hidráulica, cujas características são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características das bombas centrífugas

ESPECIFICAÇÃO	BOMBA	
	MARK BDS9	KSB-WL 80/5
Potência (C.V.)	7,5	30
Rotação (rpm)	3.500	1.750
Vazão (m ³ /h)	36	40
Altura Manométrica (m.c.a.)	36	100

3.1.2. Ejetores

Ensaíram-se dois tipos de ejtores de bombas para poços profundos, disponíveis no mercado, cujo funcionamento se baseia na aplicação imediata da equação de Bernoulli.

As Figuras 3 e 4 mostram, em corte, os ejtores utilizados, cujas características são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características dos ejtores.

PARÂMETRO	EJETOR 1	EJETOR 2
D_1	32	50
D_2	39	47
D_3	25,4	55
d_1	8	12
d_2	13,5	44
L_1	48	-
L_2	90	177
Nº de furos em A_1	1	7
A_1	50,27	791,7
A_2	143,14	1.520,53
$A_1/A_2=m$	0,35	0,52

* D_i , d_i e L_i em mm; A_i em mm².

Figura 3 - Corte longitudinal do Ejetor 1.

3.1.3. Medidores de Vazão

Para a determinação da vazão de água empregaram-se dois medidores. A determinação da vazão de ar no Ejetor 1 se obteve com o auxílio de um medidor para gás "LAO" e no Ejetor 2, por meio de um anemômetro instalado no interior de uma tubulação de PVC rígido, com diâmetro de 150mm e 3 m de comprimento.

3.1.3.1. Medidor de Vazão Magnético Indutivo (CONAUT)

É um aparelho que funciona com base na Lei de FARADAY e, no caso, o campo magnético é gerado pela passagem de uma corrente elétrica entre duas bobinas, o condutor é o fluido de medição e tem como comprimento o diâmetro do tubo.

Para avaliação da vazão nos ensaios com os ejetores foram utilizados os seguintes equipamentos:

EJETOR 1 - medidor de vazão CONAUT-463; $Q=8\text{m}^3/\text{h}$

conversor de sinais CONAUT-474; $K=404$

EJETOR 2 - medidor de vazão CONAUT-463; $Q=30\text{m}^3/\text{h}$

conversor de sinais CONAUT-474; $K=468$

Esses medidores apresentam precisão de 0,1%, comprovada em ensaios realizados no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

Os medidores CONAUT 463 foram instalados entre trechos retos e horizontais de tubos de ferro galvanizado de 1m de comprimento e com diâmetros de 1" e 2", para assegurar ao sistema condições de escoamento uniforme.

3.1.3.2. Tubo de Venturi

Trata-se de um aparelho, em essência, formado por um cone convergente e outro divergente interligados, por um corpo cilíndrico. Através da alteração da

pressão, durante o escoamento do fluido, causada pela redução da secção desse conjunto, determina-se a vazão em causa.

O "Tubo de Venturi" utilizado encontra-se instalado, permanentemente, no Laboratório de Hidráulica. Apresenta os diâmetros de 6", 4" e 6", está ligado a um manômetro diferencial tipo "U" provido com líquido manométrico azul da MERIAM, de densidade relativa igual a 1,75 e tem como equação geral

$$Q = 3,342429 H^{1/2}.$$

onde Q é a vazão em l/s e H é a altura da coluna manométrica em cm.

3.1.3.3. Medidor para gás "LAO"

Este tipo de medidor foi utilizado na determinação da vazão de ar para o Ejetor 1 e apresenta as seguintes características:

Vazão máxima = 7m³/h

Vazão mínima = 0,02m³/h

Pressão máxima = 1 mca

3.1.3.4. Anemômetro

Os dados de velocidade do ar foram obtidos com o auxílio de um anemômetro portátil CASELLA, com precisão de +- 1%, instalado no interior de uma tubulação de PVC rígido com 150mm de diâmetro, e de um cronômetro. A vazão de ar foi determinada por meio da equação da continuidade.

3.1.4. Medidores de Pressão

As medidas da pressão de alimentação se realizaram mediante um transdutor de pressão com capacidade para 10 Kgf/cm², acoplado a um indicador digital microprocessado, com precisão de 0,1%. Para medir a pressão de sucção foi utilizado um vacuômetro coluna de mercúrio, com escala em milímetros.

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Esquemas de montagem dos equipamentos

Para a realização dos ensaios, o Ejetor 1 foi acoplado a uma bomba centrífuga MARK BDS9 e o Ejetor 2 a uma bomba centrífuga KSB-WL 80/5. Essas adaptações possibilitaram uma avaliação do desempenho dos ejetores, quanto aos volumes de ar ou de água succionados na unidade de tempo, sob pressões de alimentação constantes. As fotografias das Figuras 5, 6, 7, e 8 e os esquemas das Figuras 9, 10, 11 e 12, mostram detalhes acerca da montagem dos equipamentos.

Para a realização dos ensaios com os ejetores foram adotadas as seguintes pressões de alimentação:

Ejetor 1: 10 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 70 m.c.a

Ejetor 2: 10 - 20 - 30 - 40 - 50 m.c.a.

O ajuste dessas pressões se conseguiu por meio de válvulas gaveta, de 3" para o Ejetor 1 e de 6" para o Ejetor 2, e um transdutor de pressão com indicador digital e precisão de 0,1%. Para controlar as pressões de sucção, empregou-se uma válvula agulha para o Ejetor 1, uma válvula gaveta de 2" para o Ejetor 2, e um vacuômetro de coluna de mercúrio.

3.2.2. Parâmetros de desempenho

Avaliou-se a razão vazão de sucção e pressão de sucção para cada ejetor, tanto para o caso de sucção de água como para o de sucção de ar, por meio de vinte e quatro ensaios, cada um deles sob condição de pressão de alimentação constante. Resultaram pares de valores, vazão de sucção e pressão de sucção, para cada ejetor, sendo estabelecidas sete diferentes pressões para o Ejetor 1 e cinco para o Ejetor 2, totalizando doze determinações para sucção de água e doze para sucção de ar.

Figura 5 - Montagem para ensaios com o Ejetor 1 succionando ar.

Figura 6 - Montagem para ensaios com o Ejetor 2 succionando ar.

Figura 7 - Tubo de PVC rígido com anemômetro.

Figura 8 - Montagem para ensaios com o Ejetor 2 succionando água.

LEGENDA:

- 1 - Reservatórios de água
- 2 - Conjunto motor-bomba
- 3 - Válvula gaveta
- 4 - Medidor de vazão magnético indutivo
- 5 - Transdutor de pressão

- 6 - Ejetor
- 7 - Vacuômetro de coluna de mercúrio
- 8 - Válvula agulha
- 9 - Medidor LAO para gás

Figura 9 - Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 1 e a bomba MARK BDS9 para succionar ar.

LEGENDA:

1 - Reservatórios de água	5 - Transdutor de pressão
2 - Conjunto motor-bomba	6 - Ejetor
3 - Válvulas gaveta	7 - Vacuômetro de coluna de mercúrio
4 - Medidor de vazão magnético indutivo	

Figura 10 - Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 1 e a bomba MARK BDS9 para succionar água.

LEGENDA:

- 1 - Reservatórios de água
- 2 - Conjunto motor-bomba
- 3 - Medidor de Venturi
- 4 - Válvulas gaveta
- 5 - Transdutor de pressão

- 6 - Ejetor
- 7 - Vacuômetro de coluna de mercúrio
- 8 - Anemômetro
- 9 - Tubo de PVC rígido

Figura 11 - Esquema de montagem do dispositivo com o Ejetor 2 e a bomba KSB-WL 80/5 para succionar ar.

LEGENDA:

- 1 - Reservatórios de água
- 2 - Conjunto motor-bomba
- 3 - Medidor de Venturi
- 4 - Válvulas gaveta

- 5 - Transdutor de pressão
- 6 - Ejeto
- 7 - Vacuômetro de coluna de mercúrio
- 8 - Medidor de vazão magnético indutivo

Figura 12 - Esquema de montagem do dispositivo com o Ejeto 2 e a bomba KSB-WL 80/5 para succionar água.

3.2.2.1. Curva vazão de sucção versus pressão de sucção

Com os pares de valores, vazão de sucção e pressão de sucção, correspondentes, foram construídas curvas para demonstrar se havia interdependência entre esses dois parâmetros. Cada curva foi ajustada através da análise de regressão, com a equação do tipo:

$$q = K H^x \quad (1)$$

sendo:

q = vazão de sucção (m^3/s);

H = pressão absoluta de sucção (Pa);

K e x = constantes do ejetor

Este mesmo modelo foi utilizado, tanto para sucção de água como para sucção de ar, sendo que para o ar a vazão foi medida à pressão atmosférica e corrigida para a pressão de operação, a partir da equação:

$$Q_{\text{corrigida}} = \frac{\rho_{\text{atm}} \cdot Q_{\text{Suc}}}{\rho_{\text{corrigida}}} \quad (2)$$

sendo:

$Q_{\text{corrigida}}$ = vazão de sucção de ar à pressão de operação em m^3/s ;

Q_{suc} = vazão de sucção de ar à pressão atmosférica em m^3/s ;

ρ_{atm} = massa específica do ar à pressão atmosférica em Kg/m^3 ;

$\rho_{\text{corrigida}}$ = massa específica do ar à pressão de operação em Kg/m^3 .

Para a massa específica do ar à pressão atmosférica foi adotado o valor $1,29 \text{ Kg/m}^3$.

Pela teoria dos gases podemos considerar que:

$$PV = NRT; \quad (3)$$

P = pressão absoluta (Pa);

N = número de moles;

R = constante universal dos gases = 8,312 m.N/Kg.mol.K;

T = temperatura K.

Sendo:

$$N = \frac{m}{M} \quad (4)$$

m = massa do ar, Kg;

M = massa molecular do ar, Kg/mol,

teremos:

$$PV = \frac{m \cdot RT}{M} \quad (5)$$

isolando a massa m , vem

$$m = \frac{MPV}{RT} \quad (6)$$

Sendo a massa específica (ρ) igual a massa por unidade de volume, então,

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT} \quad (7)$$

Considerando a massa molecular do ar, à pressão atmosférica, igual a 29.10^{-3}Kg/mol , e a temperatura T igual a 300K , tem-se

$$\rho = 1,163 \times 10^{-5} \times P \quad (8)$$

Esta expressão permite calcular a massa específica do ar à pressão considerada.

3.2.2.2. Rendimento (η)

Procurou-se avaliar o rendimento energético dos ejtores estudados, conforme o seguinte esquema:

Figura 13 - Corte longitudinal de um Ejtor

em que:

1 = ponto de alimentação do ejtor;

2 = ponto de sucção de ar ou água;

3 = ponto de descarga de água ou água e ar.

Observando a Figura 13 e pela lei da conservação da energia, tem-se:

$$E_1 + E_2 = E_3, \text{ sendo} \quad (9)$$

E_1 = energia total em 1;

E_2 = energia total em 2;

E_3 = energia total em 3.

Tratando-se de processo isotérmico, as formas de energia envolvidas são a cinética, a piezométrica e a geométrica, sendo que a posição do ejetor, na horizontal, iguala a energia de posição para os três pontos.

Como o objetivo principal reside na avaliação da sucção realizada pelo ejetor, e considerando E_2 como energia útil (energia para sucção) e E_1 como energia total de acionamento, o rendimento será:

$$n = \frac{E_2}{E_1} \quad (10)$$

ou ainda

$$n = \frac{Ec_2 + Ep_2}{Ec_1 + Ep_1} (*) \quad (11)$$

em que

$$Ec = \text{energia cinética} = 1/2 m V^2 \quad (12)$$

$$Ep = \text{energia piezométrica} = P. \theta \quad (13)$$

* Os índices sob as variáveis indicam as posições.

Considerando a energia por unidade de tempo (ΔT), tem-se:

$$\frac{E_c}{\Delta T} = \frac{m V^2}{2 \cdot \Delta T} \quad (14)$$

$$\frac{E_p}{\Delta T} = \frac{P \cdot \theta}{\Delta t} \quad (15)$$

sendo: m = massa em Kg;

θ = volume em m^3 ;

P = pressão em N/m^2 .

Considerando que $m = \rho \cdot \theta$, obtem-se (16)

$$\frac{E_c}{\Delta T} = \frac{\rho \theta \cdot V^2}{2 \Delta T} \quad (17)$$

Desde que o volume por unidade de tempo $\frac{\theta}{\Delta T}$ nada mais é do que

a vazão (Q), segue-se que

$$\frac{E_c}{\Delta T} = \frac{\rho Q V^2}{2} \quad (18)$$

Assim como também,

$$\frac{E_p}{\Delta T} = P \cdot Q \quad (19)$$

O rendimento será definido a partir da combinação das Equações 11, 18 e 19, como segue:

$$\eta = \frac{\rho_2 \frac{Q_2 \cdot V_2^2}{2} + P_2 Q_2}{\rho_1 \frac{Q_1 \cdot V_1^2}{2} + P_1 Q_1} \quad (20)$$

Sendo $V = \frac{Q}{A}$ chega-se a

$$\eta = \frac{\rho_2 \frac{Q_2^3}{2 A_2^2} + P_2 Q_2}{\rho_1 \frac{Q_1^3}{2 A_1^2} + P_1 Q_1} \quad (21)$$

que permite o cálculo do rendimento, tanto para o ar como para a água.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função dos resultados obtidos nos ensaios realizados, conforme a metodologia descrita no capítulo anterior, inseriu-se, a seguir, as informações e características mais evidentes que vieram de encontro ao nosso objetivo.

4.1. Dos ensaios com o Ejetor 1 succionando ar

Os resultados estão apresentados nas Tabelas 1 a 7, que mostram as relações entre a pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, aspirando ar, quando submetido às respectivas pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 metros de coluna de água.

A representação gráfica dos resultados contidos nas referidas tabelas está apresentada na Figura 14, que mostra a relação entre a vazão de ar succionado e a pressão absoluta de sucção, para as pressões de alimentação ensaiadas (10 a 70 m.c.a).

Na Tabela 8 são mostrados os resultados obtidos com os pares de valores da vazão de ar succionado versus pressão absoluta de sucção, ajustados pela Equação 1 com auxílio da análise de regressão.

Tabela 1 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,62	0	3.465	0.00
1,42	64	3.420	0.95
2,10	121	3.375	1.81
2,74	171	3.330	2.60
3,49	231	3.262	3.58
4,14	276	3.252	4.29
4,86	351	3.127	5.68
5,39	416	3.112	6.77
6,17	470	3.022	7.87
6,85	67	2.977	11.55
7,54	1.010	2.910	17.57

Tabela 2 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a.)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,40	0	4.260	0.00
1,01	98	4.215	0.78
1,64	219	4.185	1.75
2,33	322	4.155	2.60
3,03	465	4.110	3.79
3,69	623	4.057	5.15
4,44	794	4.012	6.64
5,08	990	3.952	8.40
5,80	1.267	3.907	10.87
6,59	1.437	3.877	12.43
7,13	1.813	3.847	15.81
7,87	2.300	3.772	20.45

Tabela 3 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,48	0	4.845	0.00
1,19	166	4.807	0.87
1,86	342	4.770	1.80
2,51	544	4.747	2.87
4,06	954	4.657	5.14
4,54	1.143	4.620	6.20
5,20	1.489	4.597	8.12
5,91	2.045	4.537	11.30
6,58	2.905	4.522	16.11

Tabela 4 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,46	0	5.422	0.00
1,15	192	5.377	0.71
1,87	413	5.362	1.54
2,50	633	5.347	2.37
3,18	948	5.295	3.58
3,84	1.191	5.257	4.54
4,51	1.633	5.227	6.26
5,24	2.360	5.197	9.09
6,01	3.139	5.182	12.13

Tabela 5 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTACAO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZAO(l/h)	%
0,43	0	0	0.00
1,19	224	224	0.62
1,86	570	570	1.59
3,20	1.115	1.115	3.15
3,91	1.627	1.627	4.63
4,58	2.483	2.483	7.10

Tabela 6 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 60 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,40	0	6.487	0.00
1,03	237	6.465	0.52
1,78	632	6.435	1.40
2,37	1.111	6.397	2.48
3,07	1.876	6.375	4.20
3,60	2.378	6.352	5.34

Tabela 7 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando ar, à pressão de alimentação de 70 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,40	0	6.930	0.00
1,04	383	6.907	0.69
1,67	967	6.877	1.75
2,39	1.698	6.847	3.09

Figura 14 - Vazão de sucção de ar em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a.

Tabela 8 - Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de ar succionado versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1.

PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO (m.c.a.)	K	X	R ²
10	2.637	0.532	0.824
20	12.410	0.472	0.948
30	7.379	0.557	0.890
40	3.527	0.654	0.960
50	3.679	0.674	0.903
60	0.751	0.869	0.996
70	2.370	0.798	0.982

O exame da Figura 14 nos mostra que maiores volumes de água succionada ocorreram para as pressões de alimentação de 40 e 30 m.c.a., com vantagem para a primeira que ainda exigiu menor pressão absoluta de sucção, ou seja, propriamente, 5,85 m.c.a.. Verifica-se, ainda, que as menores vazões de sucção ocorrerão para as pressões de alimentação de 10 e 70 m.c.a..

Para as pressões de alimentação ensaiadas observou-se um aumento na vazão de sucção, a medida em que se eleva a pressão absoluta de sucção, naturalmente observados os limites encontrados nos experimentos.

Durante a condução dos ensaios verificou-se que, para a pressão de sucção de ar, havia um valor limite, acima do qual o ejedor deixava de funcionar. Depreende-se que este limite depende da pressão de alimentação e é correspondente aos valores finais apresentados nas Tabelas 1 a 7.

A partir dos valores dos rendimentos apresentados nas Tabelas 1 a 7, calculados com a Equação 21, foram construídas as curvas da Figura 15.

Analizando essa figura, pode-se observar que o rendimento do Ejetor 1 aumenta a medida em que se eleva a pressão absoluta de sucção, para as pressões

de alimentação ensaiadas. As curvas representativas do rendimento em função da pressão absoluta de sucção, para as pressões de alimentação de 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a., praticamente são muito próximas, umas às outras, em toda sua extensão.

Ainda, numa análise global dessas tabelas e figuras, é possível observar-se que quanto maior a pressão de alimentação, menor é o campo de atuação do Ejetor 1 e também, menor é o seu rendimento. O rendimento máximo, equivalente a 20,45%, foi obtido com a pressão de alimentação de 20 m.c.a..

4.2. Dos ensaios com o Ejetor 1 succionando água

Os resultados desses ensaios estão apresentados nas Tabelas 9 a 15, que indicam as relações entre a pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, quando submetido às respectivas pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a..

Na Tabela 16 são apresentados os resultados obtidos com os pares de valores da vazão de água succionada versus pressão absoluta de sucção, ajustados pela Equação 1, com auxílio da análise de regressão.

Figura 15 - Rendimento em relação a pressão absoluta de sucção de ar para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60, e 70 m.c.a.

Tabela 9 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,39	0	3.465	0.00
1,00	292	3.188	0.46
1,70	412	3.110	1.14
2,40	542	2.986	2.21
3,06	656	2.970	3.43
3,75	784	2.962	5.04
4,44	940	2.936	7.22
4,96	1.104	2.915	9.54
5,08	1.134	2.830	10.34

Tabela 10 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,39	0	4.275	0.00
1,02	606	4.048	0.51
1,66	800	4.020	1.11
2,39	948	3.974	1.92
3,04	1.060	3.999	2.71
3,71	1.164	3.932	3.70
4,39	1.258	3.920	4.74
4,77	1.306	3.896	5.38

Tabela 11 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.

SUCCÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,36	0	4.920	0.00
1,03	622	4.798	0.34
1,66	804	4.730	0.71
2,32	956	4.690	1.19
3,04	1.084	4.676	1.77
3,71	1.184	4.596	2.41
4,40	1.284	4.577	3.11
4,70	1.322	4.558	3.43

Tabela 12 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.

SUCCÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,34	0	5.497	0.00
1,02	616	5.408	0.29
1,67	816	5.390	0.64
2,34	966	5.360	1.06
3,06	1.098	5.311	1.59
3,71	1.198	5.294	2.11
4,42	1.300	5.280	2.74
4,66	1.330	5.271	2.96

Tabela 13 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,31	0	6.030	0.00
0,99	618	5.947	0.17
1,70	834	5.931	0.40
2,35	982	5.913	0.65
3,04	1.108	5.901	0.95
3,75	1.222	5.872	1.31
4,39	1.308	5.861	1.64
4,62	1.340	5.854	1.77

Tabela 14 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 60 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,30	0	6.510	0.00
1,03	632	6.465	0.14
1,67	830	6.434	0.31
2,35	986	6.421	0.52
3,02	1.114	6.412	0.75
3,70	1.224	6.401	1.01
4,39	1.318	6.393	1.30
4,60	1.348	6.386	1.39

Tabela 15 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 1, succionando água, à pressão de alimentação de 70 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,28	0	6.952	0.00
1,02	634	6.912	0.12
1,68	836	6.892	0.26
2,34	990	6.877	0.42
3,04	1.126	6.871	0.62
3,72	1.236	6.866	0.84
4,39	1.330	6.861	1.07
4,54	1.356	6.857	1.12

Tabela 16 - Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de água succionada versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1.

PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO (m.c.a.)	K	X	R ²
10	0.157	0.813	0.983
20	6.687	0.491	0.998
30	6.671	0.493	0.998
40	6.192	0.501	0.998
50	6.490	0.498	0.998
60	6.298	0.501	0.998
70	6.177	0.504	0.998

Com os resultados contidos nas Tabelas 9 a 15, elaborou-se os gráficos da Figura 16, que permitem verificar-se a variação da vazão de água succionada em relação à pressão absoluta de sucção, para as pressões de alimentação ensaiadas (10 a 70 m.c.a.).

Analisando as curvas da Figura 16, verifica-se que para um aumento na pressão de alimentação de 10 m.c.a. para 20 m.c.a., ocorre uma diferença relevante na relação entre a vazão de água succionada e a pressão absoluta de sucção. Já aumentos progressivos de 20 m.c.a. até 70 m.c.a. não provocaram alterações acentuadas nessa relação.

Os limites de operação do Ejetor 1 succionando água, praticamente não sofreram influência da pressão de alimentação. Também, com as pressões de alimentação de 20 a 70 m.c.a., pode-se obter, praticamente, a mesma relação vazão de sucção/pressão absoluta de sucção.

Com os resultados dos rendimentos que constam das Tabelas 9 a 15, calculados com a Equação 21, construíram-se as curvas da Figura 17. Através da mesma verificam-se: a) quanto maior a pressão absoluta de sucção maior é o

Figura 16 - Vazão de sucção de água em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a.

rendimento do ejetor; b) quanto menor a pressão de alimentação maior é o rendimento do ejetor.

Para o Ejetor 1, succionando água, o rendimento máximo, igual 10,34%, foi obtido para a pressão de alimentação de 10 m.c.a..

Pode-se notar, ainda na Figura 17, que para o Ejetor 1 succionando água, a pressão de alimentação não deve ultrapassar 20 m.c.a., pois acima deste valor, houve queda no rendimento, além de não ter ocorrido aumento acentuado na relação vazão de sucção versus pressão absoluta de sucção, conforme se pode verificar na Figura 16.

4.3. Dos ensaios com o Ejetor 2 succionando ar

Os resultados obtidos se encontram nas Tabelas 17 a 21, que indicam as relações entre a pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, quando submetido às respectivas pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a..

Com os resultados inseridos nas Tabelas 17 a 21 construíram-se as curvas da Figura 18, que permitem verificar-se a variação da vazão de ar succionado em relação à pressão absoluta de sucção, para as pressões de alimentação ensaiadas (10 a 50 m.c.a.).

Figura 17 - Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de água para o Ejetor 1 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 m.c.a.

Tabela 17 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,45	0	38.131	0.00
6,55	5.233	34.020	7.36
7,68	16.109	32.508	23.85
8,40	24.125	29.952	39.09
9,05	37.448	27.972	65.38

Tabela 18 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,45	0	46.764	0.00
2,34	2.191	45.648	1.51
3,68	5.956	45.036	4.16
4,57	8.814	44.064	6.31
5,33	10.459	42.876	7.72
6,22	15.525	42.012	11.72
7,42	22.632	40.968	17.58
8,47	36.348	39.528	29.39
9,62	64.739	38.808	53.52

Tabela 19 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,39	0	53.820	0.00
1,82	1.510	53.280	0.66
2,69	4.975	52.848	2.21
3,79	12.368	52.452	5.54
4,88	21.275	52.020	9.63
6,14	33.189	51.624	15.17
6,99	42.838	51.048	19.84
7,78	50.795	50.616	23.75
8,50	63.238	50.184	29.89
9,60	87.646	49.752	41.91

Tabela 20 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,35	0	61.596	0.00
0,96	1.162	60.876	0.36
1,93	5.529	60.156	1.72
2,50	7.271	59.688	2.28
3,37	12.955	58.932	4.13
4,43	26.192	58.320	8.45
5,60	40.619	57.456	13.35
6,59	55.025	57.060	18.25
7,64	76.133	56.196	25.74
8,62	107.109	55.548	36.83
9,53	133.566	54.864	46.70

Tabela 21 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando ar, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,32	0	66.240	0.00
0,98	1.710	65.700	0.41
1,67	3.569	65.340	0.85
2,38	11.842	64.692	2.86
3,15	19.929	64.224	4.86
4,69	35.140	63.324	8.72
5,60	47.275	62.748	11.86
6,40	65.788	62.280	16.69
7,27	77.249	61.812	19.77
8,26	95.010	61.128	24.66
9,49	130.638	60.768	34.27

Figura 18 - Vazão de sucção de ar em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.

A Tabela 22 mostra os resultados obtidos com os pares de valores da vazão de ar succionado versus pressão absoluta de sucção, ajustados pela Equação 1, com auxílio da análise de regressão.

Tabela 22 - Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de ar succionado versus pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2.

PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO (m.c.a)	K	X	R ²
10	10.933.18	0.196	0.988
20	0.030	1.251	0.926
30	0.019	1.344	0.976
40	0.877	1.039	0.987
50	4.002	0.917	0.944

A análise da Figura 18 mostra um aumento crescente na relação vazão de sucção versus pressão absoluta de sucção, para as pressões de alimentação de 10 m.c.a. a 40 m.c.a.. Comparando-se as curvas relativas às pressões de alimentação de 40 m.c.a. e 50 m.c.a., verifica-se que elas são praticamente coincidentes nas suas extremidades e desiguais para o intervalo de pressão absoluta de sucção de 2 m.c.a a 8 m.c.a., com os valores de vazão de sucção superiores, em toda a faixa, para a pressão de alimentação de 50 m.c.a., contudo pode-se adotar, indiferentemente, as pressões de alimentação de 40 m.c.a. ou 50 m.c.a., para se obter maior vazão de sucção.

Verifica-se ainda, que os limites de operação do Ejetor 2, succionando ar, sob as diferentes pressões de alimentação ensaiadas, ocorrerão, praticamente, a uma mesma pressão absoluta de sucção, de valor próximo à pressão atmosférica.

Com os resultados dos rendimentos apresentados nas Tabelas 17 a 21, calculados com a Equação 21, foram construídas as curvas da Figura 19.

Nessa figura, que relaciona o rendimento do Ejetor 2 com a pressão absoluta de sucção, é possível observar um decréscimo acentuado do rendimento a medida em que se aumenta a pressão de alimentação. Não foi possível encontrar a razão pela qual houve uma variação crescente do rendimento ocorrida entre as pressões de 30 m.c.a. e 40 m.c.a..

As curvas correspondentes às pressões de alimentação de 30, 40 e 50 m.c.a., são, praticamente, coincidentes até a pressão absoluta de sucção de 6,5 m.c.a., divergindo, após esse valor, até os respectivos limites de operação.

O Ejetor 2, quando succionando ar e sob pressão de alimentação de 10 m.c.a., apresentou o maior rendimento, correspondente a 65,38%.

4.4. Dos ensaios com o Ejetor 2 succionando água

Os resultados provenientes desses ensaios estão reunidos nas Tabelas 23, 24, 25, 26 e 27, que mostram as relações entre a pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento, para o Ejetor 2 succionando água, quando submetido às respectivas pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 metros de coluna de água.

Com os resultados constantes das Tabelas 23 a 27 foram contruídas as curvas da Figura 20, que permitem verificar-se a variação da vazão de água succionada em relação a pressão absoluta de sucção.

Observa-se nessa figura uma descontinuidade na curva da relação vazão de sucção versus pressão de sucção, podendo-se distinguir duas regiões distintas, sendo a primeira, no intervalo de 0,15 a 0,70 m.c.a. de pressão absoluta de sucção, caracterizada por grande sensibilidade da vazão com a pressão, além das curvas apresentarem valores, praticamente coincidentes, para todas as pressões de alimentação ensaiadas; a segunda, com curvas coincidentes para as pressões de alimentação de 20 a 50 m.c.a. e pequena sensibilidade da vazão com a pressão, no intervalo de 0,70 a 2,60 m.c.a. de pressão absoluta de sucção.

Figura 19 -Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de ar para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.

Tabela 23 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 10 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,24	0	38.412	0.00
0,39	2.100	38.210	0.01
0,46	4.320	37.094	0.06
0,58	10.320	36.947	0.89
0,73	13.020	36.853	1.79
1,52	13.530	36.427	2.03
3,10	14.760	36.051	2.67
3,59	15.690	35.876	3.23
4,30	16.950	35.781	4.08

Tabela 24 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 20 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,23	0	45.648	0.00
0,39	2.220	45.611	0.01
0,46	4.290	45.371	0.03
0,57	10.320	44.993	0.50
0,77	14.670	44.654	1.40
1,48	16.230	44.431	1.91
1,83	17.340	44.211	2.34
2,07	18.420	43.912	2.83
2,70	20.610	43.841	3.97

Tabela 25 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 30 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,22	0	56.196	0.00
0,35	2.430	55.889	0.01
0,49	4.110	55.417	0.02
0,61	11.430	55.081	0.40
0,78	15.270	54.821	0.96
1,21	16.140	54.219	1.14
1,64	16.800	53.611	1.30
2,01	18.390	53.456	1.72
2,35	19.650	53.312	2.10
2,68	20.670	52.913	2.47

Tabela 26 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 40 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,21	0	62.856	0.00
0,39	3.210	62.651	0.01
0,51	7.770	62.321	0.08
0,73	14.550	61.837	0.56
1,02	15.540	61.641	0.71
1,57	16.470	61.271	0.86
1,93	18.030	60.731	1.13
2,32	19.530	60.325	1.45
2,65	20.730	59.912	1.75

Tabela 27 - Pressão absoluta de sucção, vazão de sucção, vazão de alimentação e rendimento para o Ejetor 2, succionando água, à pressão de alimentação de 50 m.c.a.

SUCÇÃO		ALIMENTAÇÃO	RENDIMENTO
PRESSÃO ABSOLUTA (m.c.a)	VAZÃO (l/h)	VAZÃO(l/h)	%
0,13	0	67.104	0.00
0,28	2.580	66.953	0.00
0,43	4.800	66.741	0.02
0,55	12.690	66.327	0.30
1,00	16.320	65.831	0.65
1,40	16.740	65.543	0.70
1,98	19.200	65.212	1.07
2,58	21.450	64.905	1.49

A curva referente à pressão de alimentação de 10 m.c.a., discrepante das demais na segunda região, mostra que o Ejetor 2, operando nessa condição, atingiu um limite de operação superior aos das demais pressões de alimentação, da ordem de 4,23 m.c.a. de pressão absoluta de sucção.

Para obtenção de maior vazão de sucção é, praticamente, indiferente adotar-se qualquer uma das pressões de alimentação de 20 a 50 m.c.a..

A Equação 1 não se ajustou adequadamente às curvas da Figura 20, conforme pode se comprovar com os coeficientes de determinação (R^2) apresentados na Tabela 28.

Figura 20 - Vazão de sucção de água em relação à pressão absoluta de sucção para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.

Tabela 28 - Valores dos parâmetros de ajuste da vazão de água succionada versus pressão de sucção para o Ejetor 2.

PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO (m.c.a)	K	X	R ²
10	34.312	0.597	0.615
20	2.004	0.930	0.744
30	2.642	0.903	0.758
40	9.765	0.769	0.760
50	3.607	0.881	0.815

Com os resultados dos rendimentos que constam das Tabelas 23 a 27, calculados com a Equação 21, construíram-se as curvas da Figura 21.

Uma análise dessa figura mostra que, para todas as pressões de alimentação ensaiadas, o rendimento aumenta com a elevação da pressão absoluta de sucção. As curvas representativas dos ensaios realizados sob as pressões de alimentação de 10 a 20 m.c.a., mostram que o Ejetor 2, quando succionando água, apresenta os maiores rendimentos, ou seja de 4,08% e 3,97% respectivamente. Também é possível observar que os limites de operação desse ejitor, sob as pressões de alimentação de 20 a 50 m.c.a., ocorrem, praticamente, para uma mesma pressão absoluta de sucção, em torno de 2,60 m.c.a., e que é possível obterem-se aumentos no rendimento com a redução das pressões de alimentação de 50 para 20 m.c.a..

A curva representativa do rendimento para as condições de pressão de alimentação de 10 m.c.a, diverge acentuadamente das demais e mostra ainda que o Ejetor 2 tem um limite de operação próximo a 4,20 m.c.a. de pressão absoluta de sucção.

Para todas as pressões de alimentação ensaiadas, o rendimento aumenta com a elevação da pressão de sucção. Quanto à pressão de alimentação, observa-se

Figura 21 - Rendimento em relação à pressão absoluta de sucção de água para o Ejetor 2 sob as pressões de alimentação de 10, 20, 30, 40 e 50 m.c.a.

queda no rendimento com o aumento desta em toda a faixa de pressão ensaiada.

4.5. Considerações gerais

Para ambos os ejetores estudados, o melhor rendimento energético foi obtido para a sucção de ar, chegando a limites de 20,3% para o Ejetor 1 e 62,9% para o Ejetor 2. Para a sucção de água, os máximos rendimentos energéticos foram 11,1% e 12,9%, respectivamente, para os Ejetores 1 e 2.

Existe um limite de pressão de alimentação, acima do qual pouco efeito se obtém na relação entre a vazão de sucção de água versus pressão de sucção. Este efeito foi notado a partir da pressão de 20 m.c.a. para ambos os ejetores. Isto permite que se recomende o emprego de pressões de alimentação de 10 e 20 m.c.a., quando se succiona água, pois as pressões superiores não aumentaram a capacidade de sucção e, ainda, conduziram a um baixo rendimento energético.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, devidamente discutidos, nos conduziram às seguintes conclusões, obviamente válidas para os ejetores estudados, sob as condições e parâmetros experimentais:

- para ambos os ejetores, succionando água ou ar, a vazão de sucção aumenta com a elevação da pressão absoluta de sucção;
- para ambos os ejetores, quando succionando ar, a vazão de sucção aumenta com a elevação da pressão de alimentação;
- para ambos os ejetores, quando succionando água, elevações da pressão de alimentação acima de 20 m.c.a., não melhoram a capacidade de sucção;
- para ambos os ejetores a curva que representa a relação vazão de sucção/pressão absoluta de sucção, pode ser calculada pela Equação 1, exceto feita ao Ejetor 2 succionando água;
- a Equação 21, proposta para calcular os rendimentos dos ejetores, mostra-se adequada, sobretudo, indiferentemente da natureza do fluído succionado, isto é, seja ele ar ou água;
- os rendimentos dos ejetores, quando succionando ar, são superiores àqueles relativos à água;
- os rendimentos dos ejetores aumentam com a elevação da pressão absoluta de sucção, respeitados os seus limites de operação;
- ambos os ejetores apresentam um limite de operação, variável com a pressão de alimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISON, H. Tratado de Hidráulica Aplicada. Barcelona, 1959. 704p.
- CARLIER, M. Machines Hydrauliques. Paris. Imprimerie Louis-Jean, 1968.
- CONTIN NETO, D. Levantamento da Curva Característica de Bocal Injetor para Turbinas Hidráulicas com Duto de Descarga Liso. São Carlos, 1973. 55p. (Mestrado - EESC-USP).
- DENICULI, W. Desempenho de Turbina Hidráulica Tipo Hélice Associada a Bocal Injetor em Instalação de Baixa Queda. São Carlos, 1983. 156p. (Doutorado - EESC-USP).
- DUGGINS, R. K. "Research Note: Conical Diffusers with Annular Injection", J. Mech. Engng. Sci, 17 (4):237-239, Aug. 1975.
- GAVA, R. Contribuição ao Estudo dos Dispositivos Bocais Injetores Ampliadores de Queda com Jato Propulsor anular Externo. São Carlos, 1971. 95p. (Doutorado - EESC-USP).
- KARASSIK, I. J.; KRUTZSCH, W. C.; FRASER, W. H.; MESSINA, J. P. Pump Handbook. New York (USA), McGraw-Hill Book Company, 1976.

LENCASTRE, A. Hidráulica Geral. Lisboa, Edição Luso-Brasileira, 1983.

MACINTYRE, A.J. Bombas e Instalações de Bombeamento. Ed. Guanabara Dois S/A, Rio de Janeiro, 1980. 657p.

MARTINS, J. A. Bombas e Estações Elevatórias. São Paulo, Faculdade de Higiene e Saúde Pública. Escola Politécnica, 2ª Edição, 1968, 383p.

MATAIX, C. Mecânica de Fluídos Y Maquinas Hidráulicas. Madrid, Ediciones Del Castillo, S.A., 1970.

NEKRASOV, B. Hidráulica. Ed. Mir, Moscou, 1968. 432p.

NICOLL, W. B. & RAMAPRIAN, B. R.: "Performance of Conical Diffusers with Annular Injection at Inlet", J. Basic Engng, 92 (4): 827-835, 1970.

PETERS, H. "Bombas Injetores". In: Zambel, A.R. ed. Manual de Aparelhos de Bombeamento de Água. São Carlos, C. 1969. p. IX. 1-22.

TROSKOLANSKI, A. T. Hydrometry: theory and practice of hydraulic measurements. Oxford, Pergamon Press, 1960.

TROSKOLANSKI, A. T. Les Turbopompes: théorie, tracé et construction. Paris, Editions Ey Rolles, 1977.

VIEIRA, R.C.C. Pesquisa sobre a Aplicação de Injetores a Turbinas Hidráulicas de Baixa Queda. São Carlos, 1966. 112p. (Cátedra - EESC-USP).

YASSUDA, E.R.; NOGAMI, P.S.; MONTRIGAUD R. Poços Profundos. São Paulo, Faculdade de Higiene e Saúde Pública-USP, 1965.