

## 2

### Breve revisão bibliográfica

#### 2.1

##### Compressores rotativos

Compressores se classificam em volumétricos ou dinâmicos (Dossat, 1961). Os compressores volumétricos, ou de deslocamento positivo, são ainda classificados em rotativos alternativos e orbitais.

Os compressores volumétricos rotativos apresentam as vantagens de manutenção relativamente fácil e baixo custo. Trabalham com alta velocidade de rotação, o que permite maior quantidade de volume comprimido do fluido por unidade de tempo. Mesmo operando à velocidade de rotação alta, os compressores rotativos apresentam menor nível de vibração, além de serem mais silenciosos (Parise, 2007).

Como desvantagens, apresentam maior nível de desgaste devido à lubrificação menos eficiente e também por operarem a maior velocidade de rotação. O modo de arrefecimento, muitas vezes, é feito somente por meio do óleo de lubrificação. Esses compressores também apresentam fugas internas do fluido a ser comprimido. Por este motivo, devem apresentar sistema de vedação mais sofisticado para diminuir vazamentos (Parise, 2007).

Os tipos de compressores rotativos mais bem sucedidos são: compressor de parafuso simples, compressor de parafuso duplo, compressor de palheta, compressor de lóbulos e o de pistão rolante. Observa-se, entretanto, no âmbito mundial, forte tendência ao compressor orbital tipo *scroll* (Parise, 2007).

É vasto o número de artigos que tratam de compressores rotativos e orbitais. Podem ser citados os trabalhos de Blunier et al. (2006), Bush, Caillat e Seibel (1986), Chen et al. (2000), Drost e Deblois (1996), Jensen (1998), Kawai (1984), Kemp et al. (1866), Kruse (1980), Li e Jin (2004), Limar e Milovanov (1992), McDougald et al. (1974), Rodgers e Nieter (1996), Hom (19886), Uçer e Celik (1980), Valente e Villante (2008) e Yoshimi et al. (2006)...

## 2.2

### Tecnologia Kopelrot

A presente revisão bibliográfica apresenta breve descrição dos trabalhos publicados sobre compressores e motores a combustão interna utilizando a tecnologia Kopelrot.

Monteiro et al. (2001) desenvolveram modelo matemático simulando o comportamento termodinâmico da primeira configuração do compressor Kopelrot. Nele, foram consideradas propriedades uniformes no volume de controle que compõe a câmara do compressor. As equações utilizadas nos modelos foram: conservação da massa e da energia, em sua forma diferencial temporal, equação de transferência de calor entre gás e parede, escoamento do gás através das passagens das válvulas, folgas entre peças móveis e a equação de variação do volume da câmara. A solução numérica destas equações permitiu o cálculo da variação de pressão no interior do compressor.

Em Barreto et al. (2004) o sistema Kopelrot para compressores é proposto e também simulado. Um modelo tradicional de simulação para compressores de deslocamento positivo, baseado em Monteiro et al. (2001), foi empregado. Para cada espaço de compressão foi estabelecido um volume de controle e as propriedades assumidas em cada um deles considerou distribuição uniforme. As equações aplicadas ao modelo foram: conservação de massa e energia, equação de movimento para as posições dos deslocadores e velocidade angular, equação de volume, equação de taxa de transferência de calor e equação de fluxo de massa. Os primeiros resultados sugeriram a viabilidade técnica do conceito proposto. Foi também apresentado um primeiro protótipo, de modo a avaliar, a velocidades relativamente baixas, o comportamento do dispositivo de variação de volume. Com este modelo de simulação foi possível proceder-se a construção de um segundo protótipo, já operando em condições reais.

Em Kopelowicz et al. (2005) o protótipo do compressor Kopelrot (cilindro de compressão e sistema de acionamento) foi construído e testado. O sistema de acionamento é apresentado e, junto com o cilindro de compressão, é descrito detalhamento com desenhos de peças, e sua montagem. Para os testes realizados em duas velocidades, de 800 e 1200 RPM, foi montado um aparato experimental. Também foram avaliadas duas excentricidades, entre o eixo de centro do cilindro

de compressão e o eixo de centro do sistema de acionamento, uma com 3 e outra com 4 mm. Esses testes, com os ajustes das excentricidades, de apenas 1 mm de diferença, mostraram que a vazão volumétrica pode ser reduzida em até 30% do valor nominal a partir desta regulagem. Tem-se, portanto, uma concepção de compressor que permite o controle de capacidade. O consumo de energia aumentou com a pressão de descarga e a velocidade de rotação. A temperatura variou com as condições operacionais conforme foi esperado. O trabalho de Kopelowicz et al. (2008) sintetizou os trabalhos numéricos e experimentais anteriores.

Em Kopelowicz et al. (2009), é apresentado o motor a combustão interna rotativo com ignição por centelha com tecnologia Kopelrot. Nesse motor os pistões são representados por dois conjuntos de deslocadores que possuem velocidade angular variável quando em movimento. Esta velocidade permite, assim como no compressor, a variação de volume dentro da câmara. Cada conjunto de deslocadores possui dois deslocadores um oposto ao outro, confirmando o total de quatro deslocadores e, formando entre eles quatro espaços. A câmara é um cilindro no qual são montados os deslocadores, ficando todo o conjunto concêntrico. Um mecanismo (patenteado) é responsável por transmitir a velocidade a cada conjunto de deslocadores e por manter um controle efetivo da taxa de compressão do motor. Um protótipo foi construído e testado a baixas rotações e, atualmente, está em testes volumétricos e de acionamento.

A Tabela 1, abaixo, apresenta um resumo dos trabalhos aqui citados.

Tabela 1 - Trabalhos publicados sobre compressores e motores a combustão interna utilizando a tecnologia Kopelrot.

AUTORES	TÍTULO DO ARTIGO	TIPO DE ESTUDO	EQUIPAMENTO
MONTEIRO, C. N., PARISE, J. A. R., KOPELOWICZ, J. [2001]	Análise teórica de um novo compressor rotativo com deslocadores de velocidade variável	Análise	Compressor
BARRETO, A. R., KOPELOWICZ, H. J., PARISE, J. A. R. [2004]	<i>Simulation of an innovative rotary compressor with variable speed displacers</i>	Simulação	Compressor
KOPELOWICZ, H. J., SIQUEIRA, C. E. R., MOUTELLA, F. L. C., AREAS, H. T., PARISE, J. A. R. [2005]	<i>Experimental evaluation of an innovative rotary compressor with variable displacers</i>	Experimental	Compressor
KOPELOWICZ, H. J., BARRETO, A. R., MOUTELLA, F. L. C., AREAS, H. T., SIQUEIRA, C. E. R., PARISE, J. A. R. [2008]	<i>Simulation and experimental evaluation of an innovative rotary compressor with variable speed displacers</i>	Simulação Experimental	Compressor
KOPELOWICZ, H. J., JIMÉNEZ, R. D., PARISE, J. A. R. [2009]	Desenvolvimento de um motor de combustão interna rotativo com deslocadores de velocidade angular variável e mecanismo inovador	Simulação Experimental	Motor

A experiência adquirida pela PUC e a Kopelrot, com a construção e ensaios do compressor, descrita nos artigos acima, apontou para a necessidade de se:

- Reduzir as passagens internas mais propensas a vazamentos;
- Testar novo sistema de acionamento;
- Propiciar melhor aproveitamento do volume externo do compressor.

Das necessidades acima constatadas resultou a concepção do novo compressor Kopelrot, cujo projeto, construção e simulação constituíram a presente dissertação, sendo descrita a seguir.