

PROJETO DE BICO INJETOR BI COMBUSTÍVEL PARA CÂMARA DE COMBUSTÃO DE MICROTURBINA A GÁS DERIVADA DE TURBOCOMPRESSOR AUTOMOTIVO

Paulo Roberto Abraham

abraham.paulo@gmail.com

***Resumo.** O mundo observa um crescimento no consumo e na necessidade de energia elétrica alavancado, principalmente, pelo desenvolvimento industrial que fez com que aumentassem os investimentos na área de geração de energia elétrica. Portanto, mostra-se de grande vantagem a diversificação das formas de geração de energia elétrica e é assim que esse trabalho se insere no contexto global nos dias de hoje. Propõe-se a utilização de uma microturbina a gás acoplada a um gerador elétrico (2º estágio) como forma de diversificação das fontes geradoras de energia elétrica. Tal arranjo é uma concepção bastante difundida utilizada em centrais termoeletricas. O diferencial do trabalho proposto reside no fato de se tratar de uma microturbina, de forma a se diminuir o investimento e poder ser aplicada na chamada geração distribuída, com uma capacidade de cerca de 5kW. O desenvolvimento de um bico injetor bi combustível permite a flexibilização de operação da microturbina, de forma que ela pode operar com combustíveis gasosos (Gás Liquefeito do Petróleo – GLP ou Gás Natural – GN) ou líquidos (Etanol) separadamente sem a necessidade de substituição de componentes internos. Esse trabalho compreende as etapas de estudos da câmara de combustão com todos os seus componentes, seleção do tipo de bico injetor e projeto e fabricação, desenvolvimento e fabricação de bancada de testes.*

***Palavras chave:** bico injetor, nebulizador, microturbina, turbocompressor, etanol*

1. Introdução

A quase totalidade da energia elétrica consumida no Brasil é produzida em usinas hidrelétricas, o que deixa o país muito dependente de seus recursos hidráulicos e sensível a mudanças nos níveis de pluviosidade. Face a isso mostra-se sensata a diversificação dos meios de obtenção de energia elétrica.

As turbinas a gás são uma solução viável e inteligente para a geração alternativa de energia, devido a uma menor razão peso/potência o que proporciona maior facilidade de transporte e manejo do conjunto, favorecendo a geração elétrica descentralizada.

Pode-se, porém, apontar como desvantagens, em comparação com ciclo Rankine, uma menor potência líquida fornecida, menor rendimento e maior sensibilidade à qualidade do combustível. Entretanto, as vantagens justificam seu estudo.

No presente projeto será desenvolvida uma câmara de combustão bi combustível que será acoplada a uma microturbina e acionará um gerador de energia elétrica de aproximadamente 5kW de potência.

Será utilizado um turbocompressor automotivo, de tal forma que o projeto focará a seleção, projeto e fabricação de um bico injetor para álcool combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural (GN) e desenvolvimento e fabricação de bancada de testes para que a câmara de combustão seja testada em aberto, ou seja, distante do turbocompressor, de forma a evitar danos ao conjunto.

A microturbina em questão envolve conceitos de cogeração de energia e geração distribuída, sendo esta a geração de energia *in loco* para alimentação de rede elétrica de pequeno porte ou comunidades isoladas, e aquela o reaproveitamento dos gases quentes provenientes da câmara para gerar energia elétrica / mecânica, frio e vapor / água quente para diversas utilidades ou processos.

Para o futuro, pretende-se implementar o funcionamento da câmara com biogás (gás proveniente da decomposição do lixo orgânico, principalmente metano), biodiesel e gasolina.

2. Desenvolvimento de bancada de testes

O estudo de um injetor de álcool para a microturbina a gás já ocorre no LETE há algum tempo e, ao longo dos últimos meses, foi feita uma pré-seleção de um bico injetor comercial utilizando-se como dados de entrada a vazão mássica de combustível, obtida através do cálculo da energia fornecida pelo álcool, que deveria ser semelhante à energia liberada pelo GLP, dado conhecido pela sua vazão, medida nas operações, pelo seu poder calorífico e pelo rendimento.

Adaptou-se esse injetor comercial na câmara de combustão e foi dada a partida com GLP por meio de uma entrada lateral na câmara de combustão. Com a microturbina em funcionamento começou-se a injetar álcool e diminuir a vazão de GLP, até o momento em que o conjunto estava operando somente com álcool. A operação foi bastante estável, mas só se mantinha para altas pressões de injeção, o que significa altas vazões de combustível, de modo que se atingiram temperaturas muito elevadas próximo ao flange de entrada da turbina (flange quadrado na fig. 1), fazendo com que um pedaço de metal se soltasse e atingisse as palhetas da turbina, danificando irreversivelmente o turbocompressor.

Para evitar a ocorrência de problemas desse tipo novamente foram tomadas algumas medidas, uma delas foi pedir junto à BorgWarner, fornecedora dos turbocompressores, que instalassem termopares na seção de entrada da turbina para que essa temperatura fosse constantemente monitorada, a outra medida tomada foi a decisão pelo projeto de uma bancada de testes para que a câmara de combustão fosse testada em aberto, ou seja, sem a presença do turbocompressor

à jusante, permitindo a observação de temperaturas na saída da câmara, o comprimento da chama, a ocorrência de descolamento da chama e instabilidades.

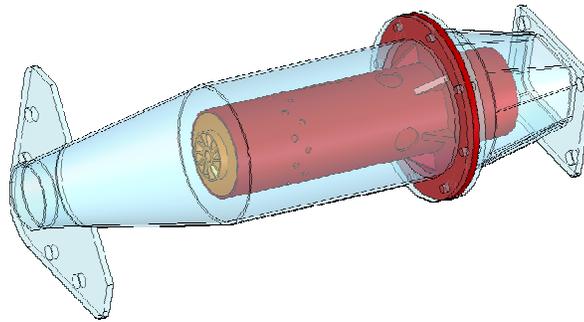


Figura 1: Exemplo de câmara de combustão

A bancada de testes proposta é constituída por um ventilador, tubulação de PVC 6", retificador de escoamento, placa de orifício e câmara de combustão. Porém, não será utilizado um ventilador, pois esse não é capaz de fornecer a vazão de ar necessária.

Para que se possam obter dados conclusivos dos testes realizados, essa bancada deve funcionar nas mesmas condições de operação da câmara de combustão na turbina. A maior dificuldade está em conseguir tamanha vazão de ar.

O ventilador usado para dar partida na turbina é um ventilador industrial de grande porte, que fornece menos da metade da vazão de ar fornecida pela turbina quando em operação. Uma saída encontrada para solucionar a questão da vazão de ar foi o acoplamento de uma segunda turbina em série com a microturbina a gás, de forma que a primeira operaria normalmente, fornecendo sua alta vazão de ar e, na saída da turbina, seria ligada a segunda turbina. Assim, todo o ar que passa pela micro-turbina passaria pela turbina do segundo turbocompressor, acionando o seu rotor e sendo lançado para o ambiente. A rotação do rotor faria com que o compressor aspirasse ar do ambiente e o liberasse num longo duto. Recentemente foi obtida uma verba junto à ANP (Agência Nacional do Petróleo) para a compra de um soprador industrial, o que simplificou a fabricação da bancada, representada esquematicamente na figura 2.

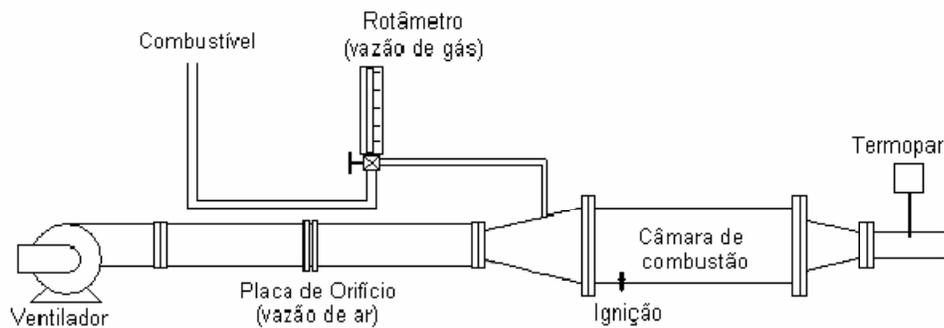


Figura 2: Representação esquemática da bancada de testes.

Ao longo desse duto há um retificador de escoamento e uma placa de orifício calibrada ligada a um manômetro em "U", de forma que se pode calcular a vazão de ar. Após a placa de orifício há mais um trecho de tubos e então a entrada do difusor que leva à câmara de combustão, onde se pode montar o misturador desejado ou o bico injetor e realizar todos os testes desejados, medindo-se vazão de ar e combustível, temperatura na saída da câmara concentração de monóxido de carbono, oxigênio e nitrogênio e observar fatores ligados à combustão.

3. Bico injetor

Tendo em vista garantir a boa nebulização do combustível líquido foi selecionado o tipo de bico injetor mais adequado.

Existem diversos tipos de componentes capazes de exercer a função de nebulização, porém, quando se trata de turbinas a gás, o leque de opções se reduz bastante devido aos seus requisitos:

- Necessidade de que os processos físicos ocorram rapidamente (nebulização e vaporização do combustível e mistura entre reagentes);
- Distribuição de temperatura uniforme na saída da câmara de combustão (segurança das pás da turbina);
- Spray de combustível deve ter um ângulo de abertura de cerca de 90° , em função da necessidade do comprimento da zona de queima ser reduzido.

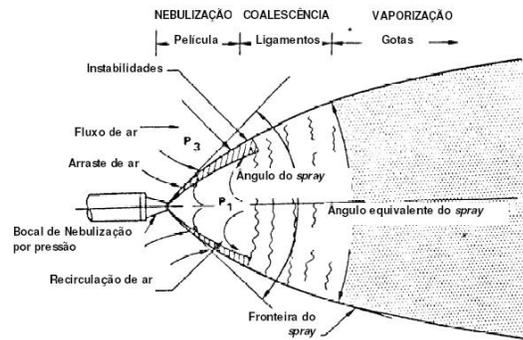


Figura 3: Formação de um *spray*

O comprimento de chama pode ser diminuído com a introdução de recirculação obtida com a injeção de ar com rotação, conforme apresentado na fig. 4. O comprimento da chama é reduzido, pois se intensificam os ritmos de evaporação das gotas logo à saída do bico nebulizador e aproxima-se assim a região onde é dada a ignição do bocal do nebulizador.

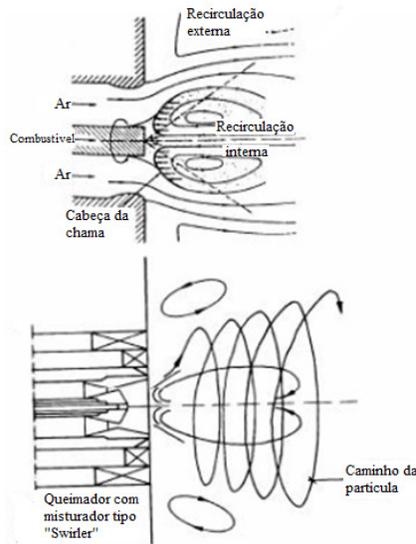


Figura 4: Recirculações obtidas com a introdução de ar com rotação

A simples passagem sobre pressão do combustível por um orifício não é suficiente para que essas condições sejam atendidas, de forma que dispositivos mais elaborados são desenvolvidos. Um tipo de nebulizador que se mostra muito adequado para a aplicação em turbinas a gás por atender aos requisitos acima expostos é o atomizador tipo *Pressure Swirl*, cujo funcionamento e figuras são apresentados na seqüência.

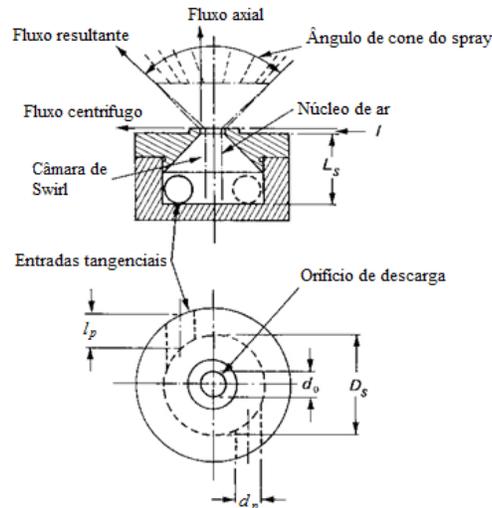


Figura 5: Atomizador do tipo Pressure Swirl

- Escoamento de combustível entra tangencialmente em uma câmara cilíndrica (câmara de swirl), adquirindo movimento rotativo com elevada velocidade angular;
- À medida que se caminha para o orifício de descarga, a área da seção transversal da câmara vai reduzindo, acelerando o movimento rotativo;
- Como o escoamento de combustível se desenvolve próximo à parede da câmara cria-se uma baixa pressão em seu centro e o ar externo acaba penetrando (*air core*);
- Emerge do orifício um escoamento semelhante a uma folha oca cônica, resultado de uma combinação entre o escoamento axial e tangencial;
- Rapidamente esta folha cônica se rompe em finas gotículas.

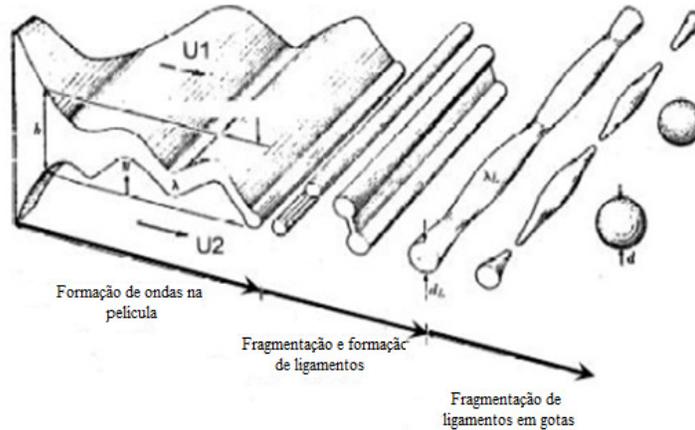


Figura 6: Modelo físico idealizado do mecanismo de desintegração de um jato plano

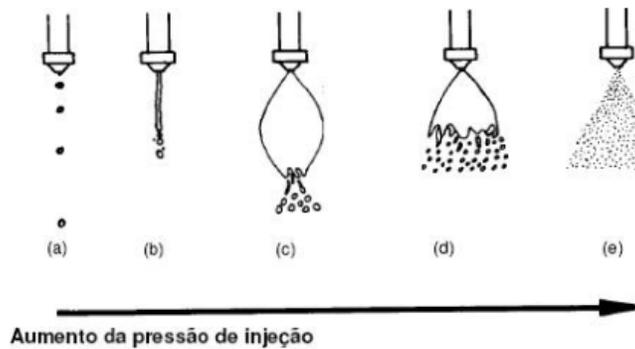


Figura 7: Estágios do desenvolvimento do spray com o aumento da pressão de injeção de líquido [15]

O nebulizador tipo *Pressure Swirl*, não consegue, porém, uma boa nebulização sobre toda a faixa de vazão do combustível. Se o projeto for feito para baixas vazões, o orifício de descarga será estreito para vazões maiores, requerendo uma pressão de injeção muito elevada. Caso o dimensionamento seja feito considerando-se vazões mais elevadas, em operação com baixa vazão a nebulização não será adequada. Para contornar esse problema pode-se usar um bico injetor do tipo *Dual Pressure Swirl* (porém a complexidade da fabricação inviabiliza seu uso), cujo funcionamento é apresentado abaixo.

- Sistema de injeção com dois orifícios concêntricos;
- Orifício interno (piloto) é menor e opera apenas em condições de baixa vazão, com uma boa atomização;
- Quando a vazão aumenta, o aumento de pressão provoca a abertura de uma válvula, de forma que o combustível passa pelo orifício externo (principal), mas o piloto é mantido em funcionamento.

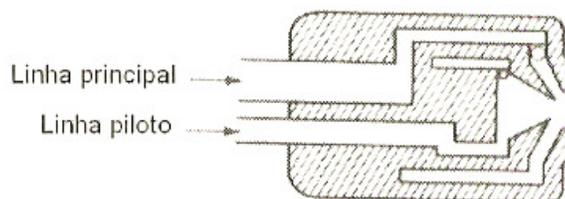
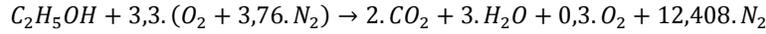


Figura 8: Nebulizador do tipo *Dual Pressure Swirl*

3.1. Projeto do nebulizador

Primeiramente, calcula-se a vazão mássica de combustível a partir da relação ar-combustível da mistura, obtida através da reação química de combustão de etanol com 10% de excesso de ar.



$$n_{ar} = 15,708 \text{ mol}$$

$$n_{comb} = 1,0 \text{ mol}$$

$$AC_{molar} = \frac{n_{ar}}{n_{comb}} = 15,708$$

$$M_{ar} = 28,97 \text{ kg/kmol}$$

$$M_{comb} = 46,07 \text{ kg/kmol}$$

$$AC_{mássica} = AC_{molar} \cdot \frac{M_{ar}}{M_{comb}} = 9,88 \text{ kg}_{ar}/\text{kg}_{comb}$$

Na microturbina projetada no LETE, o ar de combustão corresponde a cerca de 35% do ar total, sendo o restante utilizado para diluição, portanto, tem-se que:

$$\dot{m}_{ar_{total}} = 0,16 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{ar} = 0,35 \cdot \dot{m}_{ar_{total}}$$

$$\dot{m}_L = \frac{\dot{m}_{ar}}{9,88} = 0,00567 \text{ kg/s}$$

A partir da vazão de combustível (\dot{m}_L), da sua densidade (ρ_L) e do diferencial de pressões do injetor (ΔP_L) calcula-se o número de fluxo FN:

$$FN = \frac{\dot{m}_L}{\sqrt{\rho_L \Delta P_L}} \quad (1)$$

O diâmetro do orifício de descarga (D_0) deve ser escolhido arbitrariamente, de forma que os demais parâmetros do nebulizador são obtidos considerando-se os adimensionais: $A_p/(D_s \cdot D_0)$, D_s/D_0 , L_s/D_s , L_0/D_0 e L_p/D_p ; onde A_p é a área da seção transversal de entrada.

Utilizando-se a equação (2) calcula-se o coeficiente de descarga e, a partir das equações (3), (4) e (5) calculam-se os adimensionais acima citados, observando-se se os valores obtidos estão nos intervalos recomendados por Lacava [14].

$$Cd = \frac{\dot{m}_L}{A_0 \sqrt{2 \cdot \rho_L \cdot \Delta P_L}} \quad (2)$$

De relações empíricas encontradas em [4], [18] e [13] obtêm-se, respectivamente:

$$Cd^2 = \left(0,0616 \frac{D_s}{D_0} \cdot \frac{A_p}{D_s \cdot D_0} \right) \quad (3)$$

$$Cd = 0,35 \left(\frac{D_s}{D_0} \right)^{0,5} \left(\frac{A_p}{D_s \cdot D_0} \right)^{0,25} \quad (4)$$

$$Cd = 0,45 \left(\frac{D_0 \cdot \rho_L \cdot U_0}{\mu_L} \right)^{-0,02} \left(\frac{L_0}{D_0} \right)^{-0,03} \left(\frac{L_s}{D_s} \right)^{0,05} \left(\frac{A_p}{D_s \cdot D_0} \right)^{0,52} \left(\frac{D_s}{D_0} \right)^{0,23} \quad (5)$$

O semi-ângulo de *spray* (θ) pode ser estimado pela expressão desenvolvida por [11]:

$$\sin \theta = \frac{(\pi/2) \cdot Cd}{K \cdot (1 + \sqrt{X})} \quad (6)$$

Onde, $K = A_p/(D_s \cdot D_0)$ e X é a razão entre as áreas do núcleo de ar (A_a) e do orifício de saída (A_0), estimado na equação a seguir:

$$D_0 = 2 \cdot \sqrt{\frac{FN}{\pi \cdot (1-X) \cdot \sqrt{2}}} \quad (7)$$

Com os valores de FN e θ é possível estimar a espessura do filme líquido na ponta do bocal, h_0 , como sugerido em [7]:

$$h_0 = \frac{0.00805 \cdot FN \cdot \sqrt{\rho_L}}{D_0 \cdot \cos \theta} \quad (8)$$

Couto et al. [7], indica que a folha cônica possui um raio de ruptura muito maior que sua espessura, que uma vez que a folha cônica está formada a amplitude de qualquer distúrbio distante da ponta do injetor é muito menor do que o diâmetro do cone e que o comprimento de onda de quaisquer distúrbios formados no filme líquido cresce até que a amplitude seja igual ao raio de ligamento, de forma que uma gotícula seja formada por comprimento de onda. Portanto, o diâmetro de ligamento é dado por:

$$D_L = 0.9615 \cos \theta \left(\frac{h_0^4 \sigma^2}{U_0^4 \rho_a \rho_L} \right)^{1/5} \left[1 + 2.6 \mu_L \cos \theta \left(\frac{h_0^2 \rho_a^4 U_0^7}{72 \rho_L^2 \sigma^5} \right)^{1/5} \right]^{0.2} \quad (9)$$

Onde, σ é a tensão superficial do líquido, ρ_a é a densidade do ar na câmara de combustão, μ_L é a viscosidade dinâmica do líquido e U_0 é a velocidade do líquido na ponta do nebulizador, dada pela seguinte equação:

$$U_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_L}{\rho_L}} \quad (10)$$

De acordo com o mecanismo de Rayleigh [15], assumindo que o colapso de um ligamento com diâmetro D_L vai gerar uma gotícula, então, de [7], obtém-se:

$$SMD = 1.89 D_L \quad (11)$$

Seguindo-se essa metodologia foi projetado o nebulizador cujas características estão apresentadas a seguir.

3.2. Resultados

O projeto foi feito conforme a metodologia proposta por Lacava [14], com algumas adaptações para facilitar a convergência. Além de se adotar um valor inicial para D_0 arbitrou-se também um valor para o semi-ângulo de spray avaliando-se os resultados obtidos com base nos valores dos adimensionais, no SMD e nas características geométricas, como medidas de orifícios muito distantes das medidas de ferramentas disponíveis no mercado.

Os dados de entrada para determinação das propriedades dos fluidos estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1: Pressão e temperatura dos fluidos

Parâmetro	Valor	Unidade
P_{ar}	$2,00 \times 10^5$	Pa (absoluto)
P_{comb}	$7,50 \times 10^5$	Pa (absoluto)
T_{ar}	1.700,0	°C
T_{comb}	25,0	°C

Com esses dados foi possível obter as propriedades dos fluidos, que estão apresentadas na tabela 2 juntamente com os demais dados de entrada.

Tabela 2: Dados de entrada

Parâmetro	Valor	Unidade
ρ_a	$3,53 \times 10^{-1}$	kg/m ³
ρ_L	786,10	kg/m ³
μ_L	$1,06 \times 10^{-2}$	kg/m.s
σ	$2,23 \times 10^{-2}$	kg/s ²
ΔP_L	$5,50 \times 10^5$	Pa
\dot{m}_L	$5,67 \times 10^{-3}$	kg/s
D_0	$1,0 \times 10^{-3}$	m
θ	45	°

Foi feita uma iteração com esses valores e ajustou-se os parâmetros geométricos para o número inteiro mais próximo, obtendo-se os dados apresentados a seguir, sem diferenças significativas nos parâmetros de *spray*.

Tabela 3: Dados de saída ajustados

Parâmetro	Valor	Unidade
FN	$2,73 \times 10^{-7}$	m^2
X	$7,55 \times 10^{-1}$	-
h_0	$8,85 \times 10^{-5}$	m
U_0	37,41	m/s
D_I	13,10	μm
SMD	24,76	μm
C_d (equação 2)	0,25	-
$A_P / (D_S \cdot D_0)$	0,29	-
D_S / D_0	3,50	-
L_S / D_S	1,00	-
L_0 / D_0	1,00	-
L_P / D_P	2,5	-
D_0	$1,00 \times 10^{-3}$	m
D_S	$3,50 \times 10^{-3}$	m
D_P	$8,00 \times 10^{-4}$	m
L_0	$1,00 \times 10^{-3}$	m
L_S	$3,50 \times 10^{-3}$	m
L_P	$2,00 \times 10^{-3}$	m
A_P	1,01	mm^2
θ	45,92	$^\circ$

4. Análise de resultados

Na rotina implementada em ambiente EES®, foram mantidos os parâmetros geométricos e alteradas as pressões de injeção de álcool e a pressão no interior da câmara, mantendo-se constante o diferencial de pressões no bico injetor, observando-se a variação no comportamento do SMD e do θ , conforme mostra o gráfico a seguir:

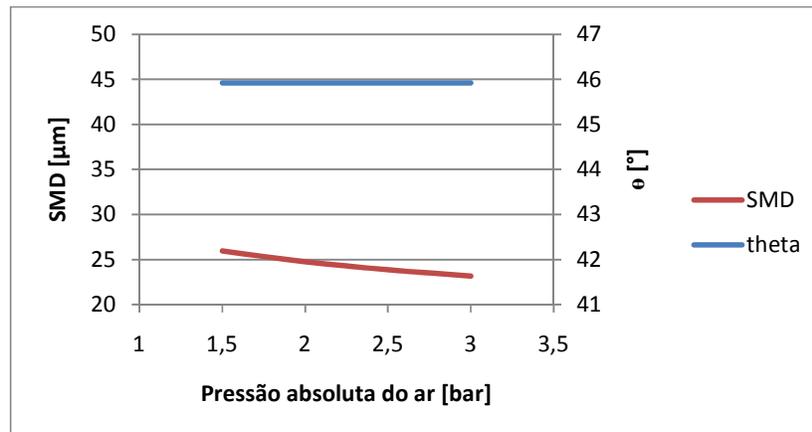


Figura 9: Variação do SMD e θ em função da pressão no interior da câmara de combustão

Observa-se que, se mantido o diferencial de pressões, o semi-ângulo não se altera e o SMD varia muito pouco com as variações de pressões do ar no interior da câmara de combustão e do combustível no bico injetor.

No próximo gráfico, observa-se a resposta do SMD e do semi-ângulo de *spray* em função da variação do diferencial de pressões no injetor, tendo sido mantidos os parâmetros geométricos do nebulizador e a pressão no interior da câmara de combustão constante e igual a 2,0 bar (abs). No gráfico da fig. 11 observa-se o comportamento do coeficiente de descarga na mesma situação do gráfico da fig. 10.

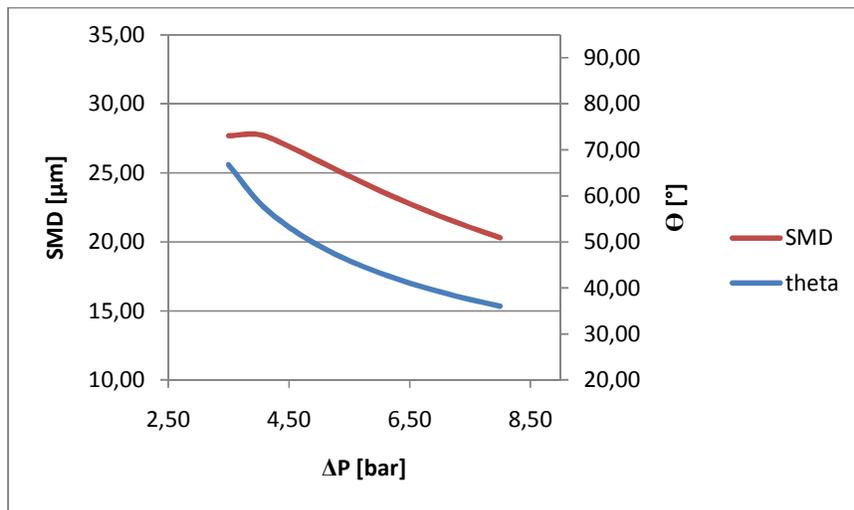


Figura 10: Variação do SMD e θ em função do diferencial de pressões do injetor

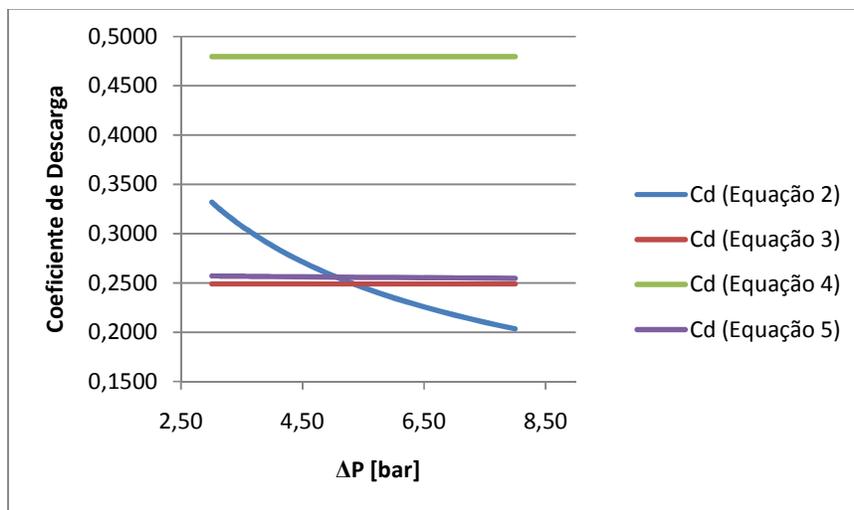


Figura 11: Variação do coeficiente de descarga em função do diferencial de pressões do injetor

Observa-se a diminuição no SMD e a diminuição do ângulo θ com o aumento do diferencial de pressões, esse comportamento é esperado e descrito pela literatura como “colapso” do ângulo do cone de *spray*, uma das principais causas da formação de fuligem e fumaça nesse tipo de nebulizador.

Nessa mesma faixa de variação de diferencial de pressões do injetor, observa-se o comportamento do coeficiente de descarga, que, como esperado, manteve-se inalterado para C_d (Equação 3), pois nesse depende exclusivamente de fatores geométricos. O mesmo comportamento é observado para C_d (Equação 4), que também depende apenas de parâmetros geométricos, porém esse coeficiente não está sendo considerado, uma vez que seu valor está bem diferente de todos os demais, portanto, por enquanto, os resultados não serão avaliados com base nesse coeficiente. A observação de C_d (Equação 5) mostra uma ligeira variação do seu valor com o diferencial de pressões, devido à variação da densidade e da viscosidade do combustível e da sua velocidade na ponta do nebulizador (U_0). O coeficiente C_d varia bastante com o diferencial de pressões, pois está diretamente relacionado a ele. Pelo gráfico da fig. 11 observa-se que no ponto de projeto ($\Delta P_L = 5,5\text{bar}$) os coeficientes de descarga considerados estão bem próximos, por isso sendo válida sua utilização no dimensionamento do nebulizador.

5. Fabricação

Ao longo do projeto foi observada a possibilidade de fabricação e montagem de todos os componentes projetados. Assim foram feitos os desenhos de fabricação do bico injetor, do sistema de injeção de combustível e do miolo para montagem do bico injetor, da vela para ignição e do injetor de gás para chama piloto.

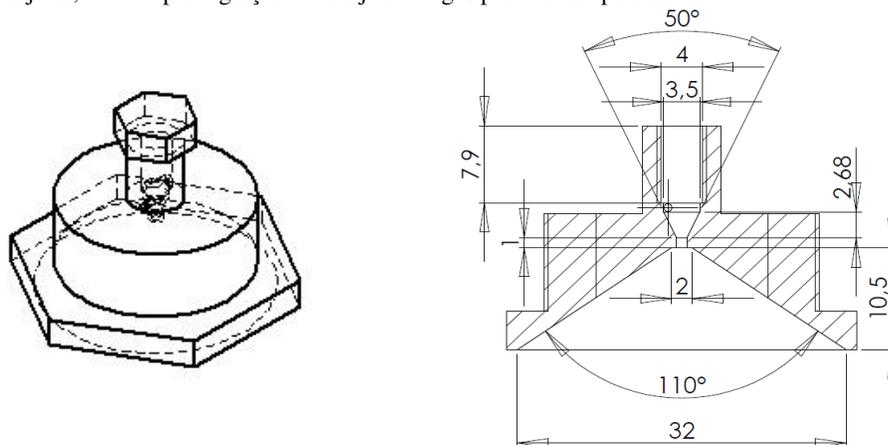


Figura 12: Desenho do bico injetor projetado.

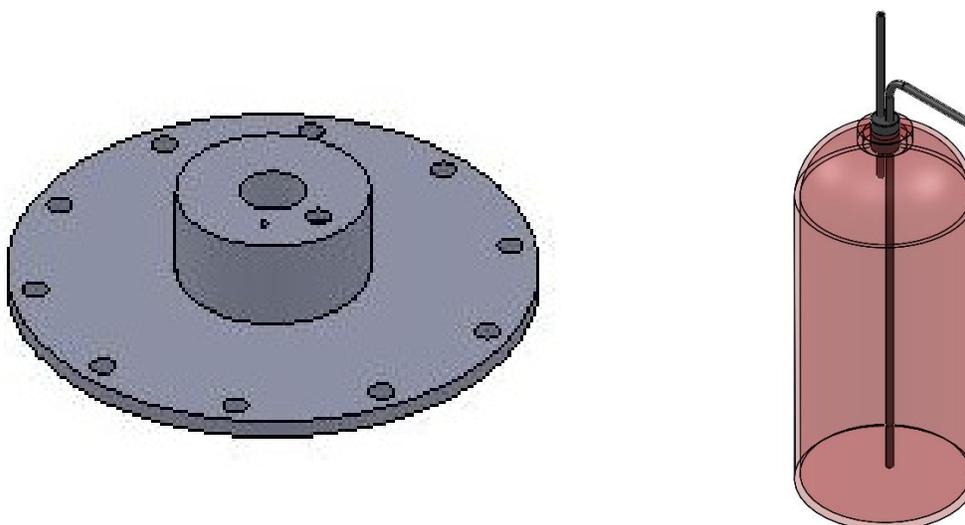


Figura 13: Desenho do miolo para montagem do bico injetor e do cilindro para injeção de combustível.

6. Referências

- [1] ANSATZ, <http://www.ansatz.com.br/> (acessado em junho de 2008)
- [2] BATISTA, C.E.S., Projeto, construção e montagem de bancada experimental para câmara de combustão de micro-turbina a gás. Trabalho de Graduação, EPUSP, S. Paulo, 2006.
- [3] BRODKEY, R.S.; "The Phenomena of Fluid Motions", Addison-Wesley Publishing Company, 1967.
- [4] CARLISLE, D. R.; "Communication on the Performance of a Type of Swirl Atomizer", by A. Radcliffe. Proc. Inst. Mech. Eng., Vol. 169, p. 101, 1955.
- [5] CHIGIER, N.; Drop Size and Velocity Instrumentation, Prog. Energy Combust. Sci, 1983.
- [6] COHEN H, Gas Turbine Theory. Editora Longman Group UK Limited. 3ª ed., 1972.

- [7] COUTO, H. S.; CARVALHO Jr., J. A. and BASTOS-NETTO, D.; “Theoretical Formulation for Sauter Mean Diameter of Pressure-Swirl Atomizers” *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 13, No. 5, pp. 691-696, 1987
- [8] DONADIO, D.L.S., Projeto de uma Câmara de Combustão para Micro turbina a Gás a partir de Conjunto Turbo-compressor pré-existente, Trabalho de Graduação, EPUSP, S. Paulo, 2004.
- [9] ELKOTB, M. M.; RAFAT, N. M. and HANA, M. A.; “The Influence of Swirl Atomizer Geometry on the Atomization Performance” *Proceedings of the 1st International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, Tokyo, pp. 109-115, 1978
- [10] FUKUMASU, NK. Projeto aero-termodinâmico de uma câmara de combustão para micro-turbina a gás derivada de um turbo-compressor automotivo. Trabalho de Graduação, EPUSP, S. Paulo, 2006.
- [11] GIFFEN, E. and MURASZEW, A.; “Atomization of Liquid Fuels” Chapman & Hall, London, 1953.
- [12] IPT, Curso de Combustão Industrial, Cap. 3 – Combustão de Líquidos, 2007.
- [13] JONES, A. R.; “Design Optimization of a Large Pressure-Jet Atomizer for Power Plant” *Proceedings of the 2nd International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, Madison, Wis., pp. 181-185, 1982.
- [14] LACAVA, P.T.; PIMENTA, A.P.; BASTOS-NETTO, D.; “Design procedure and experimental evaluation of Pressure-Swirl Atomizers.” In: 24th International Congress of The Aeronautical Sciences, 2004, Yokohama. Anais, 2004.
- [15] LEFEBVRE, A.H.; “Atomization and sprays”, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1989.
- [16] LEFEBVRE, A.H.; “Gas turbine combustion”, Ed. McGraw-Hill, São Paulo, Brasil, 1983.
- [17] PACIFICO, A. L.; "Análise teórico experimental do escoamento bifásico no interior de bocais nebulizadores do tipo “Y-Jet”, Tese Doutorado, EPUSP, S. Paulo 2000.
- [18] RISK, N. K. and LEFEBVRE, A. H.; “Internal Flow Characteristics of Simplex Swirl Atomizers” *Journal of Propulsion Power*, Vol. 1, No. 3, pp. 193-199, 1985
- [19] SCHETTINI, H.F.D., "Análise experimental de Nebulizadores tipo 'Y-Jet'", Dissertação Mestrado, EPUSP, S. Paulo 2005.
- [20] TURNS, S.R., 2000, “An introduction to combustion: concepts and applications”, Ed. McGraw-Hill, 2º edição, São Paulo, Brasil.
- [21] VERSTEEG, H.K., MALALASEKERA, W., 1998, “An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method”, Addison Wesley Longman Ltd., Reino Unido.

DESIGN OF A BI FUEL INJECTOR NOZZLE FOR COMBUSTION CHAMBER OF A SMALL GAS TURBINE DERIVED FROM AUTOMOTIVE TURBINE

Paulo Roberto Abraham
 abraham.paulo@gmail.com

Abstract. The world observes a growth in consumption and in the need of power, leveraged especially by the industrial development that has led to increased investment in the generation of electricity. Therefore, it is of great advantage to diversify ways of generating electricity and that is how this work fits into the global context today. It is proposed to use a small gas turbine coupled to an electric generator (the so called 2nd stage) as a way of diversifying sources of generating electricity. This arrangement is a widespread concept used in thermoelectric plants. The difference of the proposed work lies in the fact that it is a small turbine and, in this way, investment is reduced and it can be applied in distributed generation with a capacity of approximately 5 kW. The development of a bi fuel injector nozzle allows flexibility of operation, so that it can operate with liquid (Ethanol) or gaseous fluids (Liquefied Petroleum Gas – LPG and Natural Gas) separately without the replacement of any internal components. This work includes studies of the combustion chamber with all its components, selection of the type of injector nozzle and its design and manufacturing, development and manufacture of a test apparatus.

Keywords. *Injector nozzle, atomizer, microturbine, compressor, ethanol*