

ANÁLISE TÉRMICA PARA UMA CÂMARA DE COMBUSTÃO DE UMA BANCADA EXPERIMENTAL PARA AVALIAÇÃO DE DESGASTE EM VÁLVULAS E SEDES DE VÁLVULAS AUTOMOTIVAS, SUBMETIDAS A ENSAIOS EM ALTA TEMPERATURA.

Luis Alberto Breda Mascarenhas, breda@fieb.org.br¹
Jefferson de Oliveira Gomes, gomes@ita.br²
Andrey Teixeira Portela, andrey.portela@fieb.org.br¹
Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

¹SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã. Cep. 41.650-010. Salvador. Bahia

²ITA/CCM, Praça Marechal Eduardo Gomes, nº 50 - Vila das Acácias. CEP 12.228-970 - São José dos Campos, SP

Resumo: Este artigo apresenta uma análise térmica da câmara de combustão para uma bancada experimental para análise de desgaste de válvulas e sedes de válvulas automotivas, submetidos a testes em altas temperaturas. Foram realizados cálculos para viabilizar a operação dos testes com temperaturas de até 1.000 °C. Para isso, é apresentada conceituação analítica para cálculo de fluxo de calor dentro da câmara de combustão e são comparados os resultados dos cálculos analíticos com a simulação numérica, realizada com o software ANSYS. As válvulas de exaustão são as mais exigidas em função da temperatura de operação. Para que funcionem conforme o rigor de operação com uma queima limpa e baixa emissão de poluentes é necessária aplicação de materiais especiais. Temperaturas extremas dos gases de escapamento, crescentes aumentos das velocidades das válvulas e altas pressões são apenas alguns dos parâmetros que ocasionam desgaste nas válvulas. Os materiais usados na sua produção devem ser caracterizados por boa trabalhabilidade, baixo desgaste, boa resistência mecânica e de fadiga e boa resistência a corrosão em altas temperaturas. Ao final é apresentado a arquitetura do sistema e a bancada final, desenvolvida para os testes dos componentes em alta temperatura.

Palavras-chave: análise térmica; bancada de testes; ensaios de desgaste; válvulas e sedes de automotivas; alta temperatura

1. INTRODUÇÃO

A tendência na área de motores para veículos de passeio é que eles sejam cada vez menores e que entreguem potências cada vez maiores, respeitando normas rígidas de emissões de poluentes. Para isso é necessária aplicação de estratégias como utilização de turbo compressores, aumento da taxa de compressão, elevação da temperatura de trabalho entre outros. Para que o motor suporte essas mudanças seus componentes precisam ser otimizados tornando-os mais leves (Bae & Bae 2006).

O cilindro de um motor de combustão interna e os componentes que interagem no processo de combustão trabalham sempre em condições extremas. As válvulas e sedes são responsáveis por manter a câmara de combustão estanque durante o processo de compressão e combustão, permitir a entrada da mistura ar-combustível (veículos sem injeção direta) e saída dos gases resultantes da combustão. Para que tudo funcione devidamente, a válvula atinge altas velocidades de impacto (em torno de 500m/s), suporta grandes cargas oriundas da pressão da combustão (10 a 24kN), altas temperaturas (600 a 750 °C) além de suportar o ataque químico do combustível, óleo lubrificante e vapores resultantes do processo de combustão. Fabricantes de válvulas e sedes estão continuamente trabalhando com fabricantes de motores para melhorar a qualidade do sistema de válvulas e prolongar sua vida útil (Chun & Hong 2005).

Atualmente ensaios de válvulas e sedes de válvulas são realizados em bancos dinamométricos, porém seu custo é extremamente elevado devido à grande demanda dos dinamômetros existentes no mundo pra ensaios de diversos componentes dos motores. Além disso, para se realizar um ensaio de desgaste em válvulas e sedes de válvulas em dinamômetro é necessário um motor novo completo e após cada ensaio o motor é completamente descartado, elevando ainda mais o custo desse tipo de análise.

Em outubro de 2010, 12 empresas, a exemplo de Villares Metals, Ford, GM, Metal Leve, MWM, Thyssen Krupp, CCM/ITA, Instituto Fraunhofer, dentre outras se reuniram para formar a Rede Cooperativa para Análise de Requisitos e Restrições de Fabricação do par sede de válvula e válvula de motores de combustão interna. Naquele momento entendeu-se que seria necessário desenvolver uma bancada de testes para este conjunto para simular as condições do motor.

Neste contexto, foram levantados os principais requisitos para os testes dos componentes e foi observado que a temperatura de operação figura entre os mais importantes. Desta forma, o presente trabalho foca na análise térmica da câmara de combustão da bancada para teste de válvulas e sedes de válvulas automotivas. Além disso, apresenta o processo de projeto detalhado da câmara de combustão e sua integração com a bancada de testes.

2. DESENVOLVIMENTO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO

A câmara é uma parte essencial da bancada e sua temperatura constante representa um dos requisitos de sistema mais importantes e uma das tarefas mais complicadas por conta da faixa de temperatura de trabalho. Fatores como a fluidodinâmica dentro da câmara de combustão, janelas de observação, movimento de abertura da válvula alteram o comportamento e estabilidade da temperatura dentro da câmara de combustão. O material de base da câmara é fabricado com aço de carbono 1045 para conferir resistência mecânica, mas este não suporta a condição de alta temperatura. Neste caso, o material é isolado por uma manta de cerâmica e um cilindro de aço inoxidável AISI 310 faz a vez da contenção do ambiente, como pode ser visto na Fig. 1. O aço inox especificado tem boa resistência à corrosão em alta temperatura. Ainda na Fig. 1 pode ser vista a condição de operação para a câmara de combustão (seção B da figura).

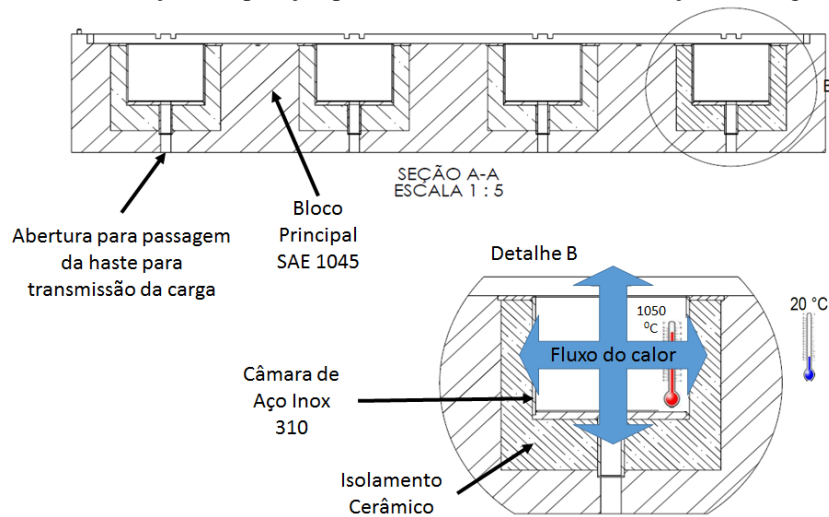


Figura 1 - Vista em corte da câmara de combustão. Composição de materiais: aço inox, manta cerâmica e aço carbono. Seção B mostra a condição de operação da câmara.

Materiais de isolamento com propriedades diferentes foram testados. A manta especificada é composta basicamente por óxido de silício e óxido de alumínio (47 a 53 % de Al_2O_3 e 48 a 53 % de SiO_2), pois apresenta a menor condutividade térmica $k_c = 0,034$ W/mK. Outros revestimentos cerâmicos foram também considerados, no entanto, a maioria deles não é resistente à corrosão ou têm coeficientes de expansão inadequados. A manta isola a câmara de combustão, prevenindo a corrosão e impede o grande fluxo de calor para fora da câmara, fato que exige menor aporte térmico pelo sistema de aquecimento para e atingir o requisito de ser chegar a 1.050 °C.

Para uma primeira avaliação se utilizou uma abordagem simplificada sobre a transferência de calor na bancada para encontrar as temperaturas de trabalho dos materiais. Admitiu-se que na região inferior de cada câmara de combustão o fluxo de calor é unidimensional, podendo assim ser modelado como uma parede plana, como exibido na parte inferior, conforme Fig. 2.

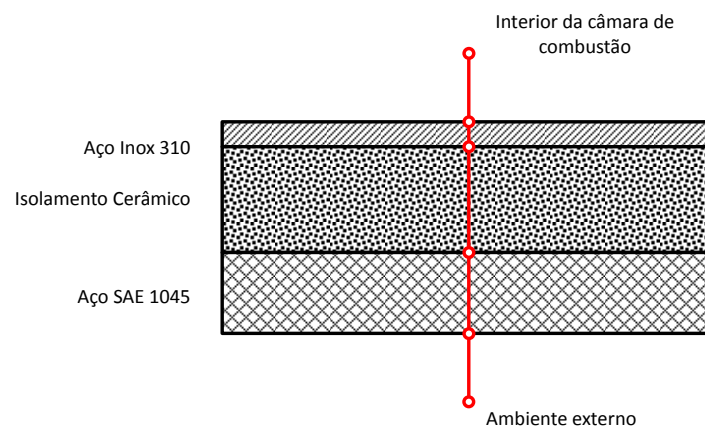


Figura 2 - Esquema do circuito térmico analisado.

Por todas as paredes sólidas ocorre o fenômeno de condução térmica. Nas extremidades da parede considerada, ocorre convecção. Devido à intensa turbulenta esperada dentro da câmara de combustão, essa região terá alto valor de coeficiente de convecção. Quanto maior este coeficiente, menor será a variação de temperatura entre o interior da câmara e a parede interna do aço inoxidável. Como situação limítrofe conservadora se admitiu que esse coeficiente é alto o suficiente para que a temperatura da parede interna do aço inoxidável seja igual à temperatura do interior da câmara de combustão (1050 °C). Essa é uma hipótese conservadora, uma vez que ocasionará maior temperatura da parede de aço. O coeficiente convectivo externo é calculado a partir de correlações empíricas apresentadas em Incropera (1996).

Foram realizados os cálculos para identificação das temperaturas nos diferentes componentes, suas dimensões e propriedades físicas. Os cálculos analíticos realizados baseam-se nas resistências térmicas envolvidas na configuração da câmara de combustão que influenciam a dissipação de calor, com a verificação das contribuições da condução e convecção térmica. Com a espessura da camada de aço $t_a = 50\text{mm}$, a espessura do isolamento cerâmico $t_c = 20\text{ mm}$ e a espessura do aço inoxidável $t_{ai} = 2\text{ mm}$, o fluxo no sistema resulta em $q'' = 1.535,3\text{ W/m}^2\text{s}$, conforme memória de cálculo a seguir. Os dados de material e o método de cálculo foram extraídos de (WYLEN, 2003), ver Tab. 1, à exceção das propriedades da manta cerâmica, extraída do catálogo do fabricante, conforme Fig. 3.

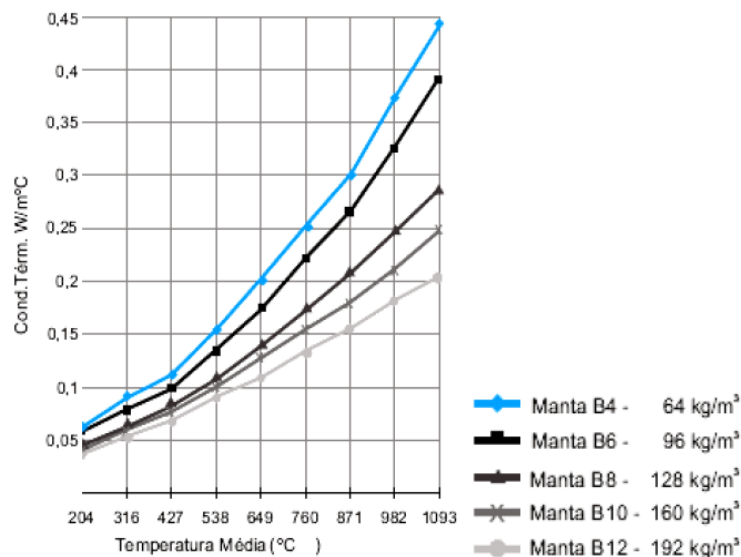


Figura 3 - Condutividade térmica da manta cerâmica que é feita de alumina e sílica. Temperatura máxima de trabalho de 1.260 °C (material utilizado B4).

Para o cálculo de temperatura de face da câmara de combustão, foram calculadas as resistências térmicas, a partir das influências da condução térmica e convecção térmica no equipamento. Para tal, foram utilizados cálculos de números adimensionais de Nusselt (Nu), Rayleigh (Ra) e Prandtl (Pr) para análises térmicas, conforme eqs. De (1) a (16) das resistências térmicas e avaliação da temperatura nas paredes da câmara. Os cálculos foram baseados na fundamentação apresentada por Incropera.

$$\Delta T = \frac{t}{k} \cdot q'' = \left(\frac{t_{ai}}{k_{ai}} + \frac{t_c}{k_c} + \frac{t_a}{k_a} + \frac{1}{\bar{h}} \right) \cdot q'' \quad (1)$$

$$\bar{h} = \frac{N_{UL} \cdot k_a}{L} \quad (2)$$

$$N_{UL} = \frac{0,68 + (0,67 \cdot R_{al})^{\frac{1}{4}}}{\left\{ 1 + \left(\frac{0,492}{P_R} \right)^{\frac{9}{16}} \right\}^{\frac{4}{9}}} \quad (3)$$

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (4)$$

$$\Delta T = \frac{t}{k} \cdot q'' = \left(\frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{t_3}{k_3} + \frac{1}{h} \right) \cdot q'' \quad (5)$$

$$\bar{h} = \frac{Nu_L \cdot k}{L} = 12,231 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (6)$$

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} = 151404032,75 \quad (7)$$

$$Nu_L = \left\{ \begin{array}{l} 0,69 + \frac{0,670 \cdot Ra_L^{1/4}}{\left[1 + (0,492 / Pr)^{9/16} \right]^{4/9}} \end{array} \right\} \text{for } Ra_L \leq 10^9 \quad (8)$$

$$Nu_L = 78,58 \quad (9)$$

$$Pr = 0,786 \quad (10)$$

$$q'' = \frac{\left(\frac{t_1}{k_1} + \frac{t_2}{k_2} + \frac{t_3}{k_3} + \frac{1}{h} \right)}{\Delta T} = 1535 \left[\frac{W}{m^2 \cdot s} \right] \quad (11)$$

$$T_a = \frac{q''}{\bar{h} + T_\infty} = 146^\circ C \quad (12)$$

$$T_{a/c} = \frac{t_s}{k_s} \cdot q'' + T_s = 151^\circ C \quad (13)$$

$$T_{ai/c} = \frac{q''}{\bar{h} + T_\infty} = 1038^\circ C \quad (14)$$

$$T_{ai} = \frac{t_s}{k_s} \cdot q'' + T_s = 1050^\circ C \quad (15)$$

Tabela 1 - Parâmetros para os cálculos de transferência de calor. (WYLEN, 2003).

	Valores (de acordo com WYLEN 2003)	Descrição
P_R	0,786	Número de Prandtl
G	9,81 [m/s ²]	Aceleração da gravidade
k_a	0,00934 [W/mK]	Condutividade térmica do ar
T_s	423,15 [K]	Temperatura da superfície
T_∞	293,15 [K]	Temperatura ambiente
L	0,06 [m]	Altura da parede
Y	0,000002 [m ² /s]	Viscosidade
A	0,00000254 [m ² /s]	Difusidade térmica
B	$=2/(T_s + T_\infty)$	
RaL	151404032,75	Número de Rayleigh
NuL	78,57749518	Número de Nusselt
H	12,23189675	Coefficiente de transferência de calor por convecção
k_a	56[W/mK]	Condutividade térmica do aço a 200 °C
k_{ai}	25,4[W/mK]	Condutividade térmica do aço inox a 1000 °C
k_c	0,0034[W/mK]	Condutividade térmica da fibra cerâmica 930 °C
t_a	0,05[m]	Espessura do aço (assumido valor constante)
t_{ai}	0,002[m]	Espessura da chapa de aço inox
t_c	0,02[m]	Espessura da fibra de cerâmica

Nestas condições a temperatura do aço carbono é de $T_a = 146$ °C e a temperatura entre a cerâmica e o aço inox é de $T_{a/c} = 152$ °C. Este resultado ainda representa uma temperatura elevada na face externa da bancada, o que vai exigir que a mesma seja revestida por um material isolante para evitar acidentes, uma vez que uma superfície acima de 60 °C já é suficiente para causar uma queimadura na pele humana. A temperatura na interface aço inox e cerâmica é de 1.038 °C. A Tabela 2 sintetiza as temperaturas calculadas para cada interface.

Tabela 2 - Temperaturas obtidas a partir do cálculo teórico para cada ponto da bancada.

Índice	Temp. (°C)	Temp. (K)	Ponto de Cálculo
T_a	146 °C	419,15 K	Temperatura na face externa da bancada
$T_{a/c}$	152 °C	425,15 K	Temperatura entre aço e cerâmica
$T_{ai/c}$	1.038 °C	1311,15 K	Temperatura entre aço inox e cerâmica
T_{ai}	1.050 °C	1361,15 K	Temperatura no aço inox

O cálculo foi utilizado para a seleção de materiais e serviu como uma primeira estimativa, uma vez que o cálculo teórico não considerou diversas características que a bancada possui, como dimensões de largura finita, seções com espessuras variáveis, dentre outras que fazem com que estes os resultados não sejam exatos. As câmaras são redondas e a secção de material muda de massa em todo o seu perímetro. Já na simulação computacional é possível fazer estas considerações com o uso do modelo matemático do conjunto mecânico. Os resultados das simulações são divididos em transferência de calor através da parede lateral e da placa superior. Conforme se esperava a perda de energia é diferente em ambas as partes, devido às propriedades dos materiais e as leis condução térmica.

Várias simulações utilizando o software ANSYS foram realizadas para verificar os resultados teóricos e definir o fluxo de transferência de calor através dos componentes. Para o primeiro teste a câmara foi ligeiramente simplificada. Ambos os furos, na parte superior e na parte inferior foram considerados fechados. A questão que se coloca é qual o tamanho das perdas de energia do sistema durante o processo de aquecimento. Esta informação é necessária para calcular a quantidade de energia necessária para manter uma temperatura constante. A simulação foi realizada sem considerar o sistema de refrigeração e com o ar como um meio ambiente. A Figura 4 mostra o perfil de temperatura nas câmaras de combustão. Com uma observação mais cuidadosa verifica-se que as câmaras das extremidades e do meio tem perfis de distribuição de temperatura levemente diferentes. Isto acontece pelo efeito das condições do entorno. As câmaras das extremidades trocam calor com o ambiente, já as câmaras do meio sofrem a influência do aquecimento das câmaras do lado, ambas recebem calor pelos dois lados, o que não ocorre nas câmaras das extremidades.

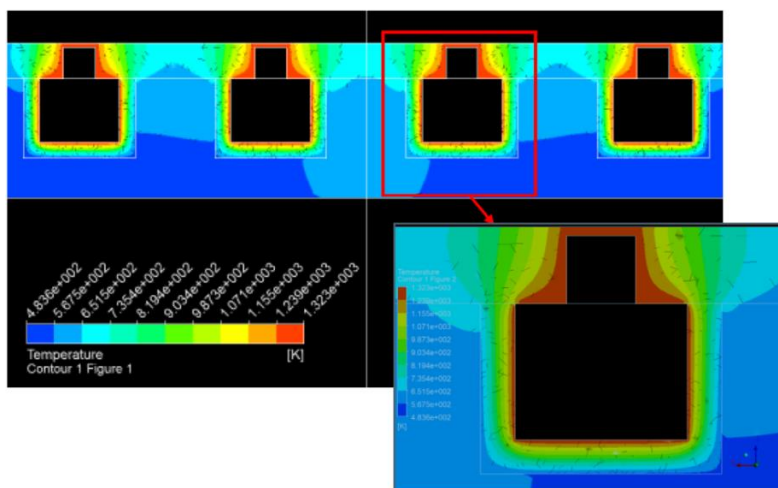


Figura 4 - Distribuição de temperatura na câmara de combustão. Simulação feita no software ANSYS.

As simulações foram realizadas com a composição de cinco domínios: quatro sólidos e um fluido. Três dos domínios sólidos são referentes às regiões de aço inox, cerâmica e aço. O quarto domínio sólido representa a placa superior da bancada composta de Aço Inoxidável AISI 310. O domínio fluido é referente ao ambiente no entorno da bancada, modelado como ar com comportamento de gás ideal utilizando-se o modelo de turbulência $k - \epsilon$, proposto por Jones e Launder (1972).

A modelagem do citado domínio fluido, mesmo numa análise na qual os principais objetivos são relacionados aos domínios sólidos, é fundamental. Variações de densidade do ar no entorno da bancada permitem fluxo advectivo, ocasionando troca de calor por convecção. Há na literatura relações empíricas de coeficientes convectivos mas, destas, as mais confiáveis são aplicáveis a casos com temperatura ou fluxo de calor constante. Nenhum destes dois casos é o esperado para a geometria em questão neste trabalho, o que justifica a simulação do escoamento em torno da geometria e o não uso de relações empíricas para coeficientes convectivos.

Foi modelado, por razões de simetria, um quarto da geometria da câmara, circundada por um domínio fluido (como exibido na Fig. 5). Essa abordagem reduz o recurso computacional necessário para as realizações das simulações. As paredes externas do domínio possuem condições de contorno especificadas: temperatura de 300K para as paredes vermelhas na Fig.5 e simetria nas paredes azuis, ainda na Fig. 5.

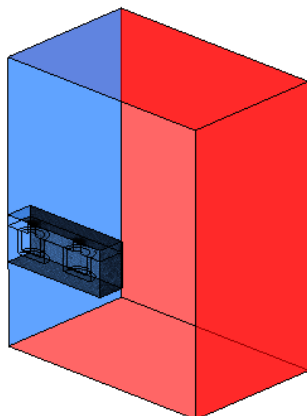


Figura 5 - Domínios sólidos e fluidos modelados.

Utilizou-se como condição de contorno a temperatura de 1050 °C para a parede interna do domínio referente à região composta por aço inox. Esta temperatura (1050 °C) é a desejada para os testes da válvula, no interior da câmara. Devido à existência de uma camada limite térmica no interior da câmara, a temperatura da parede interna do domínio composto por aço inox terá um menor valor. A condição de contorno utilizada é, portanto, conservadora em relação à condição real a ser encontrada na operação da bancada de testes uma vez que ocasionará maior fluxo de calor que o caso real.

A malha utilizada para a simulação é composta de pouco mais de 4,5.106 elementos tetraédricos. Relevante região da malha é exibida na Fig 6.

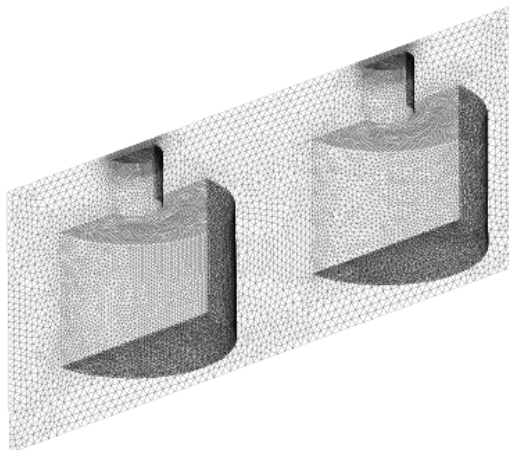


Figura 6: Malha computacional utilizada para simulações.

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as temperaturas encontradas para os mesmos pontos a partir do cálculo teórico e da simulação computacional, respectivamente. Verifica-se que há uma grande convergência, com variação de aproximadamente 100 °C. A Tabela 4 apresenta o fluxo de calor pelos principais componentes da câmara de combustão. A perda total foi utilizada para cálculo do sistema de aquecimento.

Tabela 3 - Temperatura indicada pelas simulações nos diversos pontos da bancada.

Índice	Temp. (°C)	Temp. (K)	Ponto de Cálculo
T _a	246 °C	520 K	Temperatura na face externa da bancada
T _{a/c}	259 °C	532 K	Temperatura entre aço e cerâmica
T _{ai/c}	1007 °C	1283 K	Temperatura entre aço inox e cerâmica
T _{ai}	1050 °C	1325,15 K	Temperatura no aço inox

Tabela 4 - Fluxo de Calor através dos componentes

Componente	Fluxo de Calor
Placa	QP = 4.88e+03 W
Câmara	Qc = 7.77e+03 W
Total	QT = 1.266e+04 W

3. SISTEMA DE AQUECIMENTO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO

O sistema de aquecimento para a câmara de combustão foi projetado, conforme o desenho esquemático apresentado na Fig. 7. O sistema é composto basicamente por válvulas de controle de vazão de ar comprimido e GLP e medidores de vazão; pré-misturador de gases; distribuidores de gases; queimadores; termopares e sistema de aquisição de dados; e exaustor dos gases de queima. O detalhamento dos termopares e válvulas de controle de vazão é apresentado no item de aquisição externa.

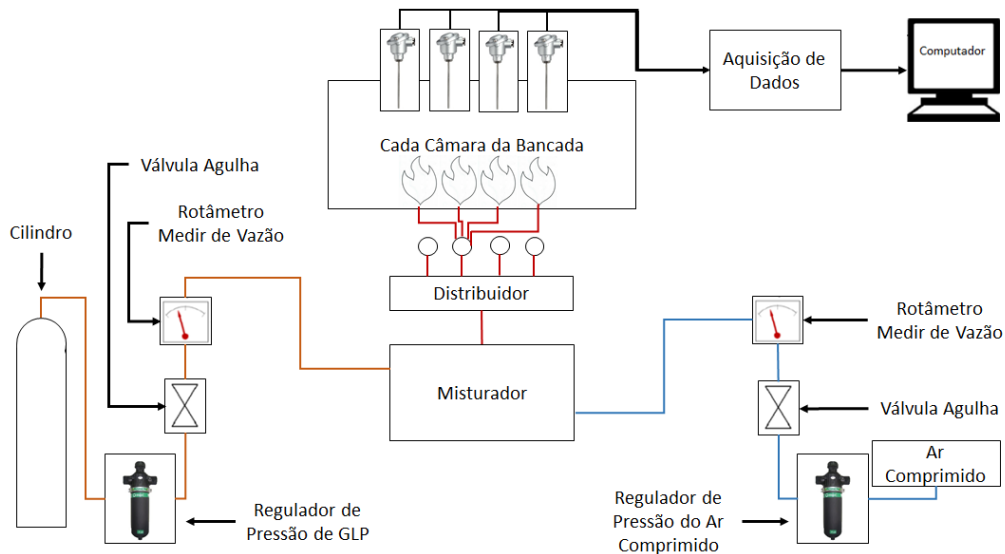


Figura 7 - Sistema esquemático para aquecimento das câmaras de combustão.

A Figura 8.a apresenta uma vista em corte da câmara de combustão, o que permite visualizar os queimadores, sistema de ignição e uso dos três materiais principais (aço carbono, manta de cerâmica e aço inox) que conferem as propriedades necessárias à câmara de combustão. Os queimadores foram especificados em aço inox AISI 310, em função da resistência à corrosão em alta temperatura. Assim evita-se a formação de óxidos no mesmo, o que causaria mudança da fluidodinâmica dos queimadores e da câmara de combustão. O sistema de aquecimento foi projetado com 4 queimadores para cada câmara de combustão. Cada queimador tem um ignitor, cuja função é dar partida à queima dos gases. O sistema de queima foi projetado para uso com pré-mistura e pós mistura de gases. Desta forma, a bancada poderá operar na condição de queima com pré-mistura de gases, pós-mistura e ainda combinar pré e pós mistura. Com isso, será possível operar com outros gases que não apenas o GLP. A operação com pós-mistura é possível por meio do suprimento de ar comprimido pela entrada de ar indicada na parte inferior da Fig. 8.

A simulação computacional, utilizando o software ANSYS, apresentada na Fig. 8.b mostra o vetor de fluxo no queimador e indica velocidade de 0,5 m/s. Este queimador admite velocidade de até 1,5 m/s, mantendo fluxo laminar, situação desejável para a estabilidade da queima.

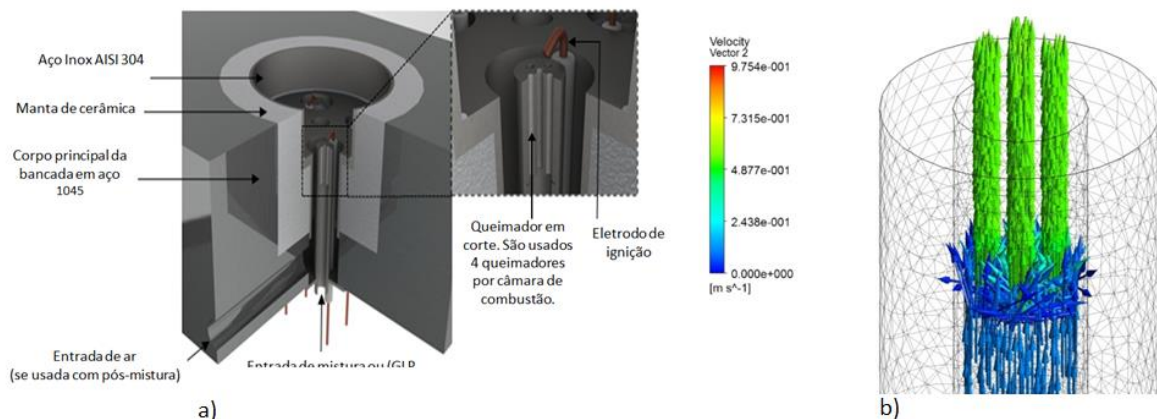


Figura 8 – Em a) detalhe dos queimadores dentro da câmara de combustão, em b) vetor de fluxo no queimador.

4. FABRICAÇÃO DA BANCADA

A Figura 9 apresenta a arquitetura definida, selecionada no âmbito da avaliação dos melhores conceitos para as funções requeridas para a bancada. O desenho é esquemático e contém as soluções que foram empregadas no projeto preliminar e detalhado da bancada. A contenção temperatura dentro da câmara de combustão foi garantida pelo conjunto de peças de aço inox AISI 310. Após usinados, os componentes foram integrados pelo processo de soldagem TIG (soldagem a arco com eletrodo de tungstênio).

A bancada é apresentada em seus diferentes sistemas, subsistemas e componentes, como pode ser visto na Tab. 4, que apresenta a lista e breve descrição dos mesmos.

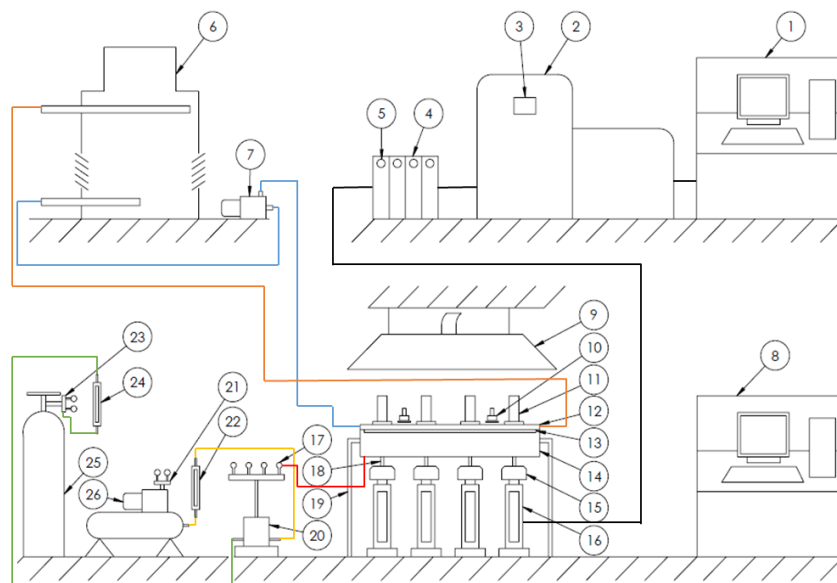


Figura 9 - Leiaute da solução conceitual global

Tabela 1 - Descrição os sistemas, subsistemas e componentes da bancada.

01	Controle do sistema de carga hidráulico	14	Corpo estrutural, com câmaras de combustão
02	Bomba hidráulica	15	Células de carga dos atuadores
03	Painel de parâmetros da bomba hidráulico	16	Atuadores Hidráulicos
04	Sistema acumulador de pressão de óleo	17	Misturador e distribuidor de gases
05	Indicador de pressão de cada cilindro	18	Hastes dos atuadores hidráulicos
06	Torre de refrigeração do fluído refrigerante	19	Suporte da bancada de testes
07	Bomba do sistema de refrigeração	20	Misturador dos gases GLP E AR
08	Controle da aquisição de dados de temperatura	21	Regulador de pressão (ar comprimido)
09	Coifa do sistema de exaustão	22	Regulador de fluxo (ar comprimido)
10	Sistema de rotação das válvulas	23	Regulador de pressão do sistema de GLP
11	Suporte da mola das válvulas e pré-carga	24	Regulador de fluxo do sistema de GLP
12	Placa superior refrigerada	25	Cilindro de GLP
13	Suporte sedes de válvulas e descentralização	26	Compressor de AR

A montagem da câmara de combustão foi feita como mostrado na Fig. 9. Inicialmente foi feita a aplicação da manta cerâmica. A manta foi fornecida em rolos com espessura de 50 mm e a mesma foi compactada para a preparação do isolamento. Primeiro foi preparada a região abaixo da câmara de combustão, conforme mostrado no sentido anti-horário, detalhe 1. O detalhe 2 mostra a montagem da manta no espaço de 20 mm entre o bloco das câmaras de combustão e o cilindro de aço inoxidável, que fica em contato com o ambiente aquecido. Por último, passo 3, foram montados os discos que fazem o fechamento e proteção das mantas cerâmicas, para evitar a contaminação da manta com óleo e água.



Figura 9 - Detalhe da montagem da câmara de combustão com o revestimento em manta cerâmica.

A Figura 11a apresenta a configuração geral da bancada desenvolvida para testes de desgaste acelerado do par válvula e sede de válvula. A bancada é composta por 8 sistemas: 1 - suporte da válvula; 2 – pré-carga da válvula; 3 - sistema de arrefecimento; 4 – sistema de desalinhamento; 5 - sistema de aquecimento / câmara de combustão; 6 - sistema de carregamento; 7 - sistema de exaustão dos gases de queima e 8 - sistema de aquisição de dados. Os materiais utilizados foram: aço de carbono para a construção do bloco principal e das câmaras de combustão, *Nimonic* (liga de níquel para trabalhar a altas temperaturas) para as hastes de aplicação da carga e aço inoxidável AISI 310 para os outros componentes. Um dos componentes mais importantes é o bloco de combustão. Ele tem a função de conter o ambiente corrosivo da combustão e resistir a operação em alta temperatura. São 4 câmaras de combustão com capacidade para testar simultaneamente 1 par de componentes por câmara. Para executar um ciclo completo, um movimento de abertura é obtido a partir da pressão aplicada pela mola na haste da válvula e em seguida é aplicada uma pressão pelos atuadores hidráulicos na cabeça da válvula, para assim realizar o movimento de fechando das válvulas.

Para aquecimento utilizam-se 16 bicos queimadores, sendo 4 por câmara. A mistura é feita por meio de um dispositivo que além de tornar a mistura ar-GLP homogênea também distribui uniformemente a vazão para os bicos queimadores. O controle da vazão é feito por meio de válvulas agulhas e medidas através de rotâmetros. A centelha é dada através de eletrodos de ignição. O sistema de resfriamento pode ser observado nos tubos de inox da parte superior da bancada, Fig. 11b. O trocador de calor utilizado foi uma torre de resfriamento que usa o ar para trocar calor com o fluido (água). São utilizados dois sistemas de exaustão, um para retirada dos gases queimados por trás da válvula (semelhante aos motores) e outro que retira os gases excedentes através de uma coifa na parte superior da bancada. Para visualização da chama, cada câmara possui janelas com vidros de quartzo que suportam altas temperaturas. Para promover a rotação das válvulas foram utilizados dois motoredutores, uma para cada par de válvulas, sendo o movimento transmitido por correias. Aceleração do desgaste é obtida pelo desalinhamento da sede em relação à válvula, pela intensidade e frequência da carga aplicada durante o ensaio e pela temperatura de operação, nas quais os componentes estão expostos (Mascarenhas *et al.* 2014).

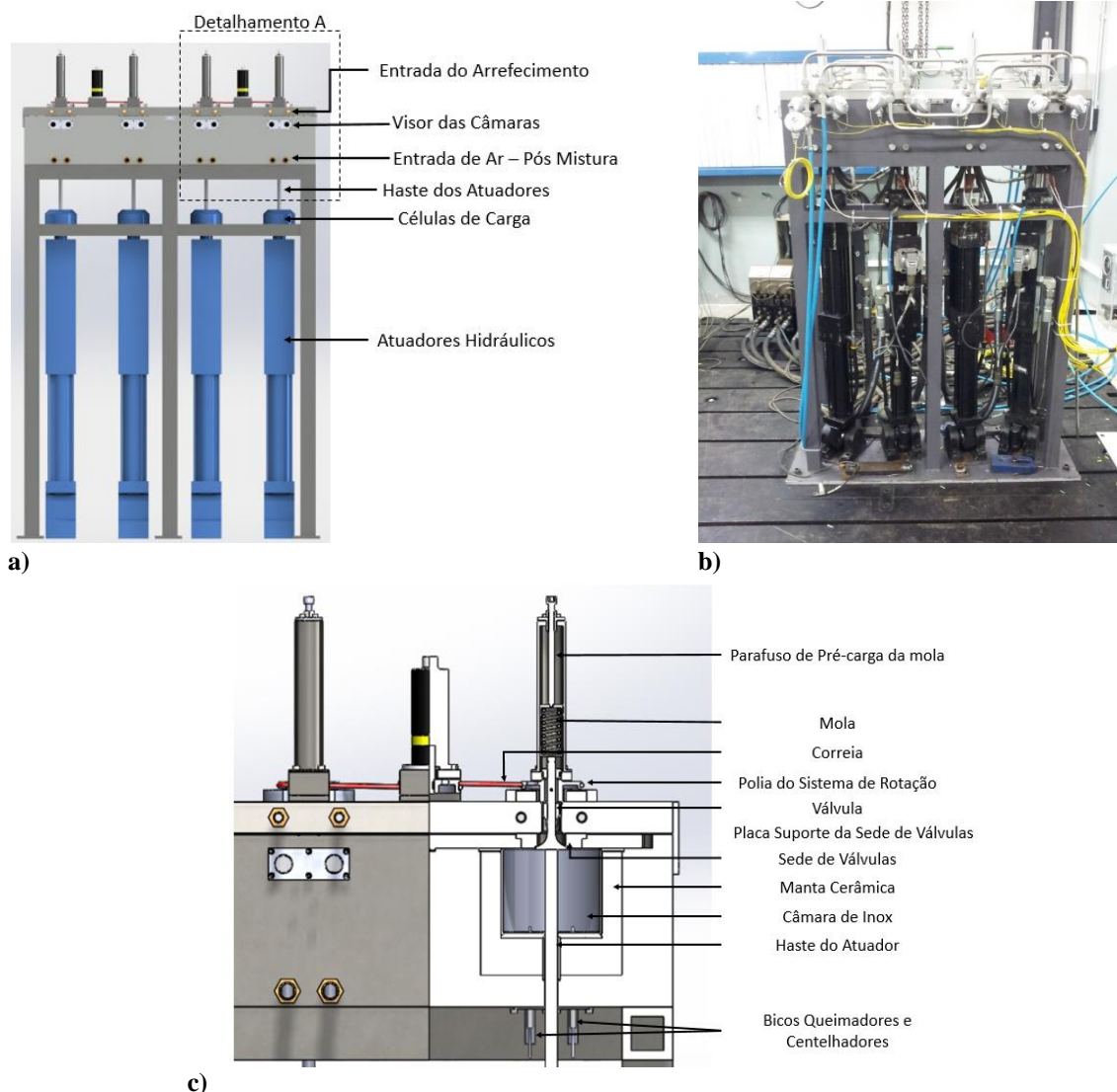


Figura 11 – Em a, visão geral da bancada, em b, foto real da bancada desenvolvida e em c –detalhe “A” da câmara de combustão.

5. CONCLUSÃO

O cálculo analítico para a câmara de combustão foi fundamental para o dimensionamento dos sistemas de aquecimento e resfriamento. A temperatura de operação da câmara de combustão é o principal parâmetro de teste para o ensaio de novos materiais para válvulas e sedes de válvulas. Foi obtido com o projeto uma condição de operação ainda não disponível nas bancadas utilizadas por empresas e pesquisadores do tema.

A comparação entre os resultados analíticos e aqueles encontrados na simulação computacional mostrou uma variação muito pequena, o que denota que o modelo analítico foi adequado para o dimensionamento do sistema.

Como resultado final, pode-se concluir que a bancada para testes de novos materiais para válvulas e sedes de válvulas automotivas pode ser utilizada na pesquisa destes novos materiais, pois apresentou resultados compatíveis com os encontrados pelos principais equipamentos de testes existentes no mundo; resistência adequada para testes de longa duração; capacidade de realizar ensaios em altas temperaturas e de reproduzir as principais condições operacionais dos motores de combustão interna.

O projeto e a fabricação da bancada são também resultados efetivos deste trabalho e mostraram a importância e potencial do uso da matriz morfológica no processo de desenvolvimento de produto.

Pode-se destacar ainda a capacidade de produção científica que pode colaborar com as pesquisas na área de materiais para válvulas e sedes, uma vez que a bancada mostra-se capaz de realizar ensaios em condições adequadas para teste de materiais e componentes.

6. AGRADECIMENTOS

Sinceros agradecimentos ao SENAI CIMATEC, por apoiar financeiramente e tecnicamente o desenvolvimento do projeto que foi conduzido na modalidade de projeto plataforma e buscou a integração da área automotiva com várias áreas de competência do campus.

7. REFERÊNCIAS

- Bae, J.-I. & Bae, S.-C., 2006. A study on the Engine Downsizing Using Mechanical Supercharger. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 19(C), p.2321~2329.
- BACK, N. OGLIARI, A. SILVA, J.C. da., DIAS, A. Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. Editora Manole. ISBN: 978-85-204-2208-3. 2008
- Chun, K.J. & Hong, J.S., 2005. Engine valve and seat insert wear depending on speed changes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 219(4), pp.525–534.
- Chun, K.J., Kim, J.H. & Hong, J.S., 2007. A study of exhaust valve and seat insert wear depending on cycle numbers. *Wear*, 263(7-12), pp.1147–1157.
- Incropera, F.P., Fundamentos de transferência de calor e de massa, 4ª ed, JOHN WILEY & SONS, 1996.
- Jones, W.P. & Launder, B.E., 1972. The Prediction of Laminarization with a Two-Equation Model of Turbulence. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- Lewis, R. & Dwyer-Joyce, R.S., 2002. Wear of diesel engine inlet valves and seat inserts. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 216(3), pp.205–216.
- SENAI. Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia – CIMATEC (Salvador, BA). Luis Alberto Breda Mascarenhas; Jefferson de Oliveira Gomes; Celso Antonio Barbosa; Andrey Teixeira Portela; Leone Peter Correia da Silva Andrade. Bancada para ensaios acelerados de novos materiais para válvulas e sede de válvulas e métodos de análise. Nº BR 102014027581-9, 04 nov. 2014.
- Wang, Y.S. et al., 1996. The effect of operating conditions on heavy duty engine valve seat wear. *Wear*, 201, pp.15–25.
- Wyllen, Sonntag (2003) Borgnakke: Fundamentos da Termodinamica, John Willey & Sons.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

THERMAL ANALYSIS FOR A COMBUSTION CHAMBER OF AN EXPERIMENTAL WORKBENCH FOR WEAR EVALUATION IN AUTOMOTIVE VALVES AND VALVE SEATS, AT HIGH TEMPERATURE TESTS.

Luis Alberto Breda Mascarenhas, breda@fieb.org.br¹

Jefferson de Oliveira Gomes, gomes@ita.br²

Andrey Teixeira Portela, andrey.portela@fieb.org.br¹

Alex Álisson Bandeira Santos, alex.santos@fieb.org.br¹

¹SENAI CIMATEC, Av. Orlando Gomes, 1845, Piatã. Cep. 41.650-010. Salvador. Bahia

²ITA/CCM, Praça Marechal Eduardo Gomes, nº 50 - Vila das Acácias. CEP 12.228-970 - São José dos Campos, SP

Abstract: *This article gives a thermal analysis of the combustion chamber for a test rig for wear analysis in automotive valve seats and valves, submitted to tests at high temperatures. Calculations were made to enable the operation of the tests with temperatures up to 1,000 ° C. For this, analytical concept is presented for calculating heat flow within the combustion chamber and compared the results of analytical calculations on the simulation performed with the ANSYS software. The valve and valve seat together perform the function of ensuring the entry of air and combustible material, the output of combustion gases and the sealing function during the compression and combustion processes. The valve is the most demanding component in high efficiency engines. To ensure the rigor of operation while providing clean burning and low emissions, the application of special materials is necessary. The extremely high temperatures of the exhaust gases, the velocities of valves and the high operating pressure are only some of the parameters that cause wear on valves. The materials used in valve production must be characterized by good manufacturability, low wear, high mechanical strength, fatigue and corrosion resistance at high temperatures.*

Palavras-chave: *Thermal analysis; workbench; wear tests; automotive valves and seat valves; high temperature.*