

---

## **CARACTERIZAÇÃO DO SPRAY DE ÓLEO VEGETAL A ALTAS TEMPERATURAS E PRESSÃO PARA OPERAÇÃO DE MOTORES DO CICLO DIESEL NO MODO DUPLO COMBUSTÍVEL**

**Jamil Lima da Silva<sup>1</sup>**

### **RESUMO**

Este trabalho trata do estudo de caracterização da penetração do spray de óleos vegetais para operar motores de combustão interna do ciclo Diesel no modo duplo combustível. Através de uma abordagem teórica experimental estudamos os fenômenos da atomização responsável pela geração do spray em ambientes gasosos. Uma efetiva atomização tem o papel de propiciar um aproveitamento ideal do óleo vegetal como chama piloto na operação do motor Diesel no modo duplo combustível. Dentro deste contexto, esta pesquisa traz como um dos objetivos o estabelecimento de estratégias de análise dos importantes parâmetros associados ao spray produzido numa atomização utilizando óleos de origem vegetal como fluídos combustíveis. A aplicação das leis da mecânica dos fluidos e a observação dos fenômenos envolvidos nas fases da atomização correlacionaram modelos matemáticos de predição das características do spray desenvolvido em diversos estudos já realizados. A matéria prima na aquisição de dados para este estudo consiste nas imagens dos processos de atomização obtidas pela técnica de shadowgrafia e na catalogação dos parâmetros envolvidos. A abordagem se prima pela exploração de experimentação científica em que serão utilizadas técnicas qualitativas e quantitativas de medição na progressão da sequência fotográfica de um filme do spray. Com técnicas fotográficas sofisticadas empregaremos métodos de medição através da linguagem do auto CAD para o tratamento. No presente estudo foram resgatados e analisados vários trabalhos já existente referente à investigação na profundidade de penetração da pulverização de Biodiesel e óleo Diesel e que estabeleceram estratégias matemáticas para identificar as fronteiras do spray. Com isso será feita uma análise comparativa com os resultados catalogados em nosso estudo. Finalmente apresentamos uma análise da influência

---

<sup>1</sup> E-mails: jamillimadasilva1@gmail.com, jamilunb@gmail.com. Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Tecnologia – ENM 2015.

de cada parâmetro, as relações com pesquisas antecedentes e a aplicabilidade das correlações propostas.

**PALAVRAS CHAVES:** Penetração, injeção de óleo vegetal, Spray, parâmetros.

### **Nomenclaturas Utilizadas:**

$m_f$  = fluxo de massa  
 $m_o$  = Momento do fluxo  
 $\Delta$  = variação.  
 $p$  = pressão  
 $r$  = raio do orifício  
 $\varphi$  = Diâmetro do orifício  
 $\rho$  = densidade  
 $\theta$  = Ângulo do cone  
 $u_o$  = velocidade de saída do fluido  
 $t$  = tempo  
 $S$  = Comprimento do spray  
 $a - d$  : coeficientes  
 $\kappa$  = Fator de convergência  
 $l$  = comprimento dos orifícios de bico

## **1. INTRODUÇÃO**

A energia elétrica se tornou indispensável para o bem estar humano. Comunidades isoladas de diversas regiões e principalmente da Amazônia produzem eletricidade por meio de motor Diesel. A dificuldade no acesso a esse produto é muito grande nessas localidades ocasionando uma alta no seu valor, muitas vezes atingindo 3x o preço cobrado nos grandes centros. Estas regiões são riquíssimas em plantas oleaginosas. No caso dessas localidades qual é a alternativa? Responder essa pergunta é um trabalho árduo, porque embora haja obviedade nas respostas, o caminho não é simples. É por essa consequência que o presente trabalho procura, com aprofundamento, detalhes para caracterizar um modelo de aproveitamento dos recursos naturais locais com intuito de amenizar essa dificuldade e agregar facilidades nas atividades produtivas da população dessas regiões. Vislumbrar um cenário onde a biomassa seja a principal fonte de energia em comunidades isoladas é trazer perspectivas de um novo horizonte para o futuro dessas regiões.

---

Faz-se necessário investigar detalhadamente os parâmetros de funcionamento dos motores do ciclo Diesel para propor a idealização na caracterização da penetração do spray de óleos vegetais para operação desses motores utilizando como combustível a biomassa local.

O estudo foi realizado com objetivo de caracterizar o spray de óleo vegetal em uma bancada de atomização para que o mesmo seja aplicado como chama piloto no modo duplo combustível.

A pesquisa está estruturada em cinco seções principais. Primeiro, uma introdução delimitando o problema da pesquisa, relatando a motivação e objetivando as hipóteses apresentadas. Nesta parte, uma análise dimensional e simples é feita buscando motivação para objetivos hipotéticos o que levou a decisão pela opção de realização da pesquisa. As metodologias experimentais são descritos na segunda parte em que as abordagens demonstram as informações das principais características do estudo da penetração de um spray de óleos vegetais onde um conjunto de dados é fortemente analisado situando às correlações dos parâmetros envolvidos. Também são apresentadas as técnicas mais importantes do sistema de aquisição de imagens e equacionamentos numéricos. Na terceira seção relatamos as principais teorias desenvolvidas sobre o estudo da penetração do spray de combustíveis e seus procedimentos experimentais. Em seguida, na seção quatro estamos validando os efeitos catalogados e buscando resultados comprobatórios de nossas citações, e, por fim, a seção cinco onde citamos nossas validações e conclusões finais do estudo.

## **2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.**

As abordagens propostas neste trabalho demonstram um banco de informações das principais características da penetração de um spray de óleo vegetal. Um conjunto de dados é fortemente necessário, pois o fenômeno da penetração se correlaciona com uma ampla gama de parâmetros que influenciam diretamente em seu desenvolvimento em ambiente gasoso.

Testes experimentais do presente trabalho foram realizados em duas bancadas existentes no laboratório de termo fluídos da Universidade de Brasília na Faculdade da cidade do Gama – DF. Uma bancada própria para teste de injetores Common Rail e outra confeccionada para aquisição e análise de imagens do spray.

A matéria prima para geração dos resultados serão imagens do processo de penetração do spray e os produtos químicos e seus parâmetros correlacionados ao estudo. A bancada n°1 é um equipamento utilizado para testes em dispositivos do sistema Common Rail e testa injetores indutivos ou piezelétricos sequencialmente, verificando suas condições eletro mecânicas. E a bancada n°2 foi confeccionada para adaptação de acessórios de visualização e aquisição de imagens.

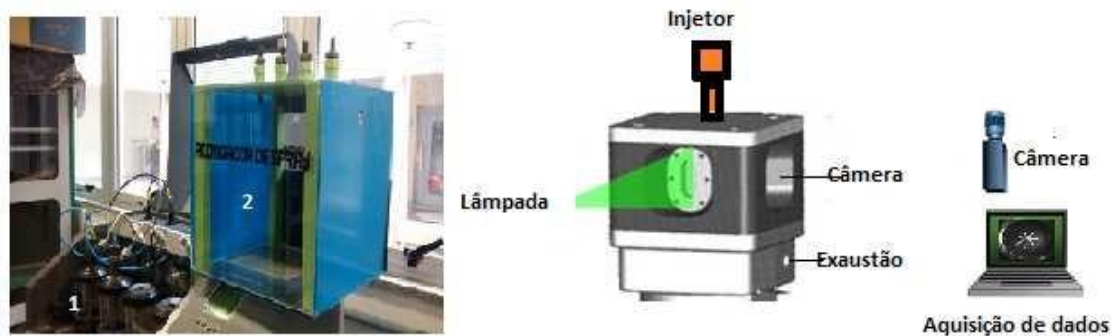


Fig. 1: Bancadas de atomização

As imagens foram obtidas através das técnicas, comum e de captação a alta velocidade ou alta taxa de quadros por segundo.

Nesta técnica de alta frequência de quadros, a câmera, o spray e a fonte de iluminação contínua ficam alinhados com o cone para que a aquisição seja realizada por um sistema de shadowgrafia onde a sombra do fluído é captada pela câmara.

A fotografia comum é uma técnica de baixo custo e foi aplicada no nosso estudo. Neste trabalho estamos optando por esta prática para determinação visual do ângulo do spray e alcance da penetração por medição da imagem com Auto Cad e com aplicação da escala angular em formato de transferidor.



Fig.2: Escala angular

A metodologia da fotografia de alta velocidade é mais eficiente, pois permite uma avaliação mais qualitativa. Através desse método a obtenção dos valores dos

ângulos é mais dificultosa e só é confiável se através de levantamentos de medições das gotículas, ou seja, ampliando as fotografias de milhares de corpúsculos e efetuando as medições de seus diâmetros.

Mesmo sabendo que o levantamento fotográfico é muito exaustivo. Neste trabalho optamos pelo incremento das duas técnicas citadas.

“Souza” (1998) utilizou uma técnica buscando a obtenção de uma impressão nítida do spray em um filme de sensibilidade ISO 400 com curtíssimo tempo de exposição. Para a tal o spray analisado é mantido em penumbra, montado verticalmente para baixo. Com uma câmera convencional, mantendo permanentemente aberto o obturador e perpendicular ao spray, obtêm se a imagem. Com auxílio de um flash de alta velocidade, com intervalo de relâmpago na ordem de  $10^{-5}$ s impressiona um filme ISO 400.

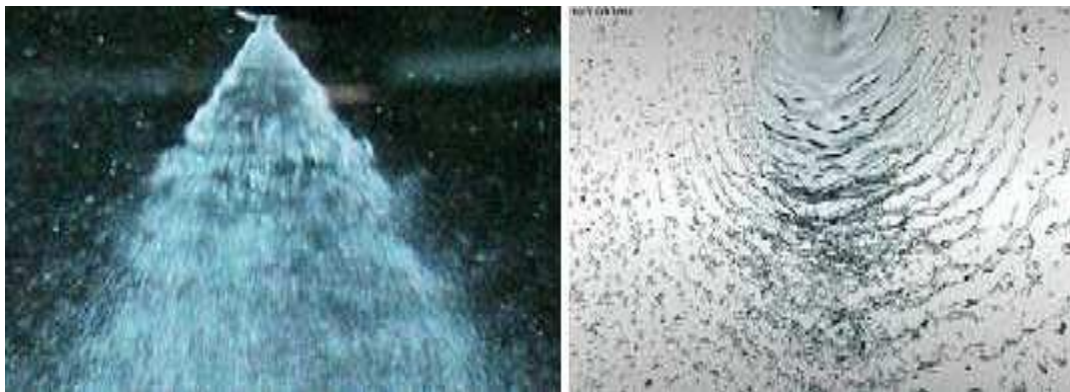


Fig.3: Congelamento de um filme

De início iremos realizar ensaios com óleo de soja in Natura e Diesel natural. Um fator importante no estudo de penetração do spray de combustíveis é a decisão na escolha do tipo de atomizador a ser utilizado para injeção do líquido na câmara de combustão. O injetor utilizado nos testes foi comprado especificamente para este trabalho, contendo quatro furos e suas configurações estão indicadas nos quadros a e b como mostra a Fig.4

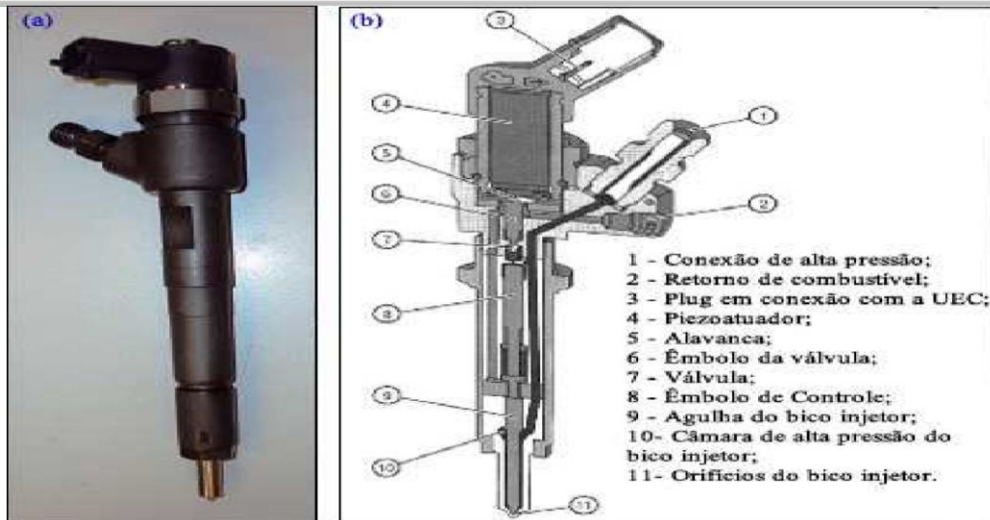


Fig.4: Injetor da bancada

Os cálculos necessitam de processos iterativos, visto que podemos efetuar uma breve descrição dos modelos geométricos dos sprays. A penetração é definida como a distância ao longo do eixo de pulverização com mostra a figura seguinte.

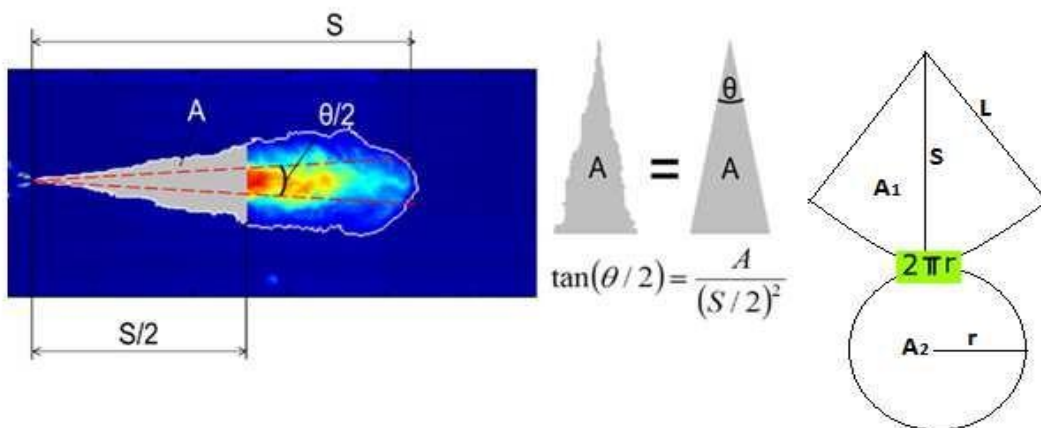


Fig.5: Geometria da penetração de um spray

A penetração se desenvolve em forma de um cone. Portanto temos duas áreas a serem analisadas: a área da base do cone e a área lateral. O círculo da base do cone possui área circular, então:

$$A_b = \pi R^2 \quad (1)$$

A área lateral será:

$$2\pi L \rightarrow \pi L^2 \quad \text{Logo: } A_l = \pi r L \quad (2)$$

Somando a área lateral  $A_l$  com a área da base  $A_b$ , temos:

$$A_s = \pi r(L+r) \rightarrow \text{Área total do cone do spray.}$$

Se dividirmos a área lateral em duas vamos obter dois triângulos semelhantes,

logo  $\frac{\theta}{2}$

$$\text{Resultando } \tan \frac{\theta}{2} = \frac{r}{S} \rightarrow S = \frac{r}{\tan \frac{\theta}{2}} \quad (3)$$

## 2.1. CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DA BANCADA

- Aciona os injetores com sinais elétricos semelhantes aos dos veículos;
- Tampa protetora transparente com chave de segurança que desliga o sistema quando aberta;
- Operação, display gráfico e interface simples e objetiva;
- Tecla Help com explicações sobre as etapas de teste;
- Testes de válvula DRV e sensor de pressão;
- Suporta testes com injetores das marcas Bosch, Siemens, Delphi e Denso;
- Conectores e acessórios para diferentes tipos de injetores;
- Detecção de curto-circuito / interrupção dos injetores;
- Testes de injetores indutivos e piezelétricos;
- Medições de vazão de injeção e retorno totalmente automáticos (1 injetor por vez);
- Controle de pressão do fluido durante os testes;
- Conexão de 1 a 4 injetores;
- Detecção automática dos injetores que estão conectados;
- Permite realizar ensaios personalizados onde é possível escolher a pressão e o tempo de injeção;
- Ao final do teste é possível visualizar os resultados dos testes por injetor através da opção relatório;
- Armazenamento dos resultados dos testes para envio de relatório ao PC;
- Alimentação 220V 50/60Hz Monofásico;
- Consumo: 5000VA;

- Capacidade do reservatório do fluido: 7 litros;
- Fluido de Teste: Castrol ISO 4113 ou Ipiranga Ultra Sene 4113;
- Pressão máxima do teste: 1500 bar;
- Dimensões: 970x870x470 mm (AxLxP);
- Peso: 95 Kg - 60Hz / 111Kg - 50Hz.

Existem vários modelos de pulverização disponíveis na literatura e esses modelos podem prever o desempenho da pulverização no motor em vários parâmetros.

### **3. TEORIA DE SPRAY**

#### **3.1. SPRAY**

Sprays são dispersões físicas dos líquidos em meios gasosos e existem diversas maneiras de serem produzidos. Para que um spray se propague em um ambiente é necessária uma elevada diferença de velocidades entre o líquido atomizado e a atmosfera gasosa onde o mesmo é injetado.

Na atomização a função do atomizador é desintegrar o líquido em pequenas gotículas e descarregá-lo em um meio gasoso com forma de spray uniforme. A geometria do orifício dos atomizadores influencia no ângulo do cone de penetração e na uniformidade da dispersão das gotículas.

Atomizadores do tipo swirl podem produzir sprays sólidos, mas para a maioria das aplicações o spray é formado por um cone oco com a maior parte das gotículas concentradas em sua periferia, “GUZZO” (2012).

Existem forças de resistência com o ar que fazem o spray perder rapidamente seu momentum provocando a formação de uma fina névoa. A dispersão subsequente é formada principalmente através do movimento do ar na região do spray, “GUZZO” (2012).

Os sprays com menor ângulo de penetração possuem um grau significativo nos efeitos da resistência do ar. A situação é inversa para os atomizadores do tipo swirl onde o maior grau de dispersão torna mais significativo a resistência do ar por haver maior superfície de contato do líquido com o gás.

A dispersão em uma atomização pode ser expressa quantitativamente, se em determinado instante o volume de líquido dentro do cone for conhecido. O grau



---

de dispersão poderá então ser expresso como a razão do volume do spray com a razão do volume de líquido contido no mesmo, “GUZZO” (2012)

### **3.2. PENETRAÇÃO**

Vamos definir penetração como a máxima distancia alcançada durante a injeção de um spray em uma atmosfera estática.

Podemos observar dois efeitos opostos que interferem em uma penetração. (1) A energia cinética inicial do jato de líquido e (2) a resistência aerodinâmica da atmosfera gasosa.

À medida que a atomização se desenvolve e a área superficial do líquido aumenta o spray passa a sofrer maior efeito de resistência do ar. Quando a maior parte da energia cinética é dissipada pelo atrito a trajetória subsequente é conduzida principalmente pela gravidade e pelo movimento do ar, “GUZZO” (2012). O estudo do desenvolvimento do spray a partir de um atomizador é dividido em estágios. O estágio inicial consiste no processo de injeção que ocorre nas proximidades da saída do injetor e é definido como quebra primaria e depende dos fatores de projeto, tais como geometria do orifício de descarga, característica de abertura e pressão de injeção. O segundo estágio do spray é a atomização e é descrito como atomização secundaria e distinto pela interação das gotículas geradas pelo processo de atomização primaria com o campo da presença do ar envolta das gotículas.

Durante o regime transiente podemos classificar em três estágios. No primeiro estágio, as gotículas formam um cone. No segundo estágio, a estrutura do spray muda ao mesmo tempo no instante em que as gotículas injetadas posteriormente movem-se em direção às gotas injetadas previamente, desaceleradas devido ao arrasto. No último estágio, a estrutura do spray atinge uma condição permanente e todo o cone cresce e se distancia da ponta do injetor.

As características da penetração do spray de injeção de óleo são influenciadas por muitos parâmetros operacionais, tais como: a pressão e a densidade dentro da câmara de combustão, a pressão de injeção, a temperatura do injetor e a volatilidade do combustível. O comprimento de quebra é definido como a distância entre o injetor e o ponto do espaço onde ocorre a aparição das

primeiras gotículas líquidas e depende da velocidade relativa entre o líquido e o ambiente ao qual o líquido é descarregado. Durante esse intervalo de tempo ocorrem duas etapas na desintegração do jato líquido, a primeira próxima ao injetor que denominamos quebra primária e a posterior mais distante na quebra em gotículas menores denominadas quebra secundária.

A quebra primária poderá ser determinada através de uma equação de continuidade:

$$m_l = \pi \cdot \rho_l \cdot U_z \cdot t_0 \cdot (d_0 - d_n) \quad (4)$$

Onde:  $m_l$  = Fluxo mássico de combustível

$d_0$  = Diâmetro do orifício de descarga

$\rho_l$  = Densidade do combustível

$U_z$  = Componente axial da velocidade na saída do orifício

$U_z = U \cdot \cos\theta$

Onde:  $U$  = Velocidade relativa entre o combustível e o ar

O jato de líquido saindo do injetor é tratado como uma lâmina de líquido até que esta atinja seu comprimento de quebra, a qual poderá ser analisada com a aplicação da equação de conservação de quantidade de movimento.

“GUZZO” (2012) definiu o comprimento da quebra como sendo:

$$S_b = \frac{18\sqrt{2}}{F} \cdot \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_g}} \cdot \frac{t_0}{W_{eh}} \quad (5)$$

Onde:  $w_{eh}$  = O número weber do ligamento

$t_0$  = Espessura na zona de descarga  
 $\rho_g$  = Densidade do gás ambiente

$\rho_l$  = Densidade do líquido injetado

$S_b$  = Comprimento de quebra

Este comprimento de quebra é estudado baseado na análise da estabilidade de uma onda sinuosa cônica.



$$S_b = B \sqrt{\frac{\rho_l \cdot \sigma t_b \cos \theta}{\rho_g U_r^2}} \quad (6)$$

Onde:

B = Uma constante

$\sigma$  = Tensão superficial do líquido

$t_b$  = Espessura no ponto de quebra

$U_r$  = Velocidade radial relativa lamina de gás

Wakuri 1960 desenvolveu um modelo de equação para cálculo do comprimento da penetração correlacionando a variação da pressão, a densidade do gás o diâmetro do orifício e o tempo de injeção.

$$S = 1,189 C_a^{0,25} \left( \frac{\Delta P}{\rho_g} \right)^{0,25} \left( \frac{d_0 t}{\tan(\theta)} \right)^{0,5} \quad (7)$$

Posteriormente "DENT", (1971) desenvolveu uma equação correlacionando os mesmos Parâmetros.

$$S = 3,07 \left( \frac{\Delta P}{\rho_a} \right)^{1/4} (d_n t)^{1/2} \left( \frac{294}{T_g} \right)^{1/4} \quad (8)$$

ARREGLE, (1999) usou uma equação mais simplificada correlacionando coeficientes que foram obtidos com resultados experimentais sobre um spray Diesel. Esta equação depende apenas do diâmetro do bico, pressão de injeção, a densidade do gás e o tempo.

$$S = d_i^{0,307} \cdot p_{inj}^{0,262} \cdot \rho_g^{-0,406} \cdot t_i^{0,568} \quad (9)$$

PAYRI (2005), desenvolvendo testes com nitrogênio na análise de penetração chegou à conclusão com seus resultados experimentais que seria necessário a inclusão do fator de convergência ou divergência do orifício bocal no cálculo do comprimento da penetração do spray de um líquido em um ambiente gasoso.

$$S_t = \rho_a^a \cdot \Delta P^b \cdot \phi_0^c \cdot t^d \quad (10)$$

KUMMAR (2013) realizou um valioso trabalho referente à injeção de spray de biodiesel em alta pressão. Em seu estudo demonstrou que a injeção do spray de biodiesel prolonga o tempo na ponta de penetração em comparação com o Diesel natural. Mas a relação linear é aproximada com da penetração e sugeriu que o comportamento de biodiesel e Diesel é semelhante em jatos turbulentos e em estimativa sobre o tamanho das gotículas de pulverização mostrou que biodiesel gera maior diâmetro devido à diferença de viscosidade e necessita de uma maior tensão superficial na injeção. Em razão disso, a penetração é mais afetada.

Para explicar a variação no cone de pulverização “PAYRI”, (2005) propôs uma correlação da penetração que incluí o fator de convergência ou divergência ( $\kappa$ ) do orifício como uma variável adicional.

$$S_t = \kappa \cdot \rho_a^a \cdot \Delta P^b \cdot \phi_0^c \cdot t^d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)^{0,5} \quad (11)$$

#### 4. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL

Nos primeiros testes realizados em nossa bancada de atomização o fluido utilizado foi óleo Diesel natural a uma temperatura de 35°C e pressões de 350 bar, 800 bar e 1400 bar consecutivamente. A aquisição fotográfica é efetuada por uma câmera com uma lente teleobjetiva introduzida em orifícios da parte frontal da bancada. Esta foi a melhor combinação encontrada para a aquisição das imagens

no aparato experimental. A obtenção das imagens deste trabalho ocorreu pelo espalhamento da luz nas gotículas dos sprays captadas em uma câmera

A figura seguinte mostra uma fotografia comum da penetração de um spray de óleo Diesel em nossa bancada.



Fig.6: Fotografia comum com medição de ângulo e comprimento de penetração

Com a aplicação da ferramenta do auto CAD foram definidos o valor dos comprimentos da penetração para cada imagem retirada do filme e assim com auxílio da álgebra linear monta-se um sistema de equações para determinarmos os valores dos coeficientes de cada parâmetro das equações desenvolvidas em estudos anteriores.

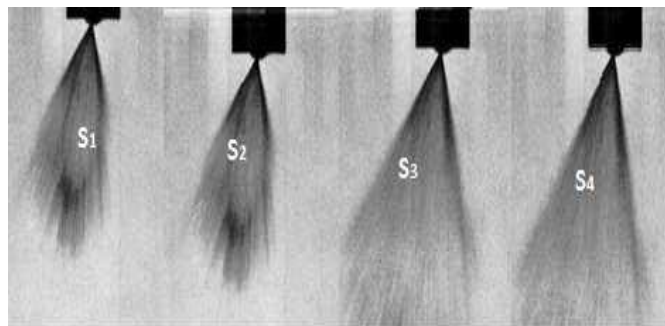


Fig. 7: Sequência de imagens fotográficas

Tentando garantir maior precisão em nossos resultados numéricos optamos por utilizarmos a equação descrita por “PAYRI”, (2005) nas nossas comparações com resultados experimentais.



$$\left[ \begin{array}{l} S_{(1)} = \kappa \cdot \rho_a^a \cdot \Delta P^b \cdot \phi_0^c \cdot t^d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)^e \\ S_{(2)} = \kappa \cdot \rho_a^a \cdot \Delta P^b \cdot \phi_0^c \cdot t^d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)^e \\ S_{(3)} = \kappa \cdot \rho_a^a \cdot \Delta P^b \cdot \phi_0^c \cdot t^d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)^e \\ S_{(4)} = \kappa \cdot \rho_a^a \cdot \Delta P^b \cdot \phi_0^c \cdot t^d \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)^e \end{array} \right.$$

Como estamos trabalhando com óleo de soja por ser um produto em abundancia nas diversas comunidades do país, a tabela abaixo informa suas características e do Diesel.

**Tabela 1: Características dos óleos de soja e Diesel**

Características	Soja	Diesel
Poder calorífico (Kcal/Kg)	9431	10950
Ponto de névoa (°C)	13	-
Índice de Cetanos	-4036	-3940
Densidade a 25°C	0,9118	0,8497
Viscosidade a 37,8°C	36,8	2,0 – 4,3
Destilação a 90% (°C)	370	338
Teor de cinzas (%)	-	0,014

Agora que definimos uma equação para nossos métodos experimentais e conhecendo os principais vetores envolvidos no estudo, podemos utilizar um algoritmo em Matlab para calcularmos alguns parâmetros relacionados a penetração conforme a tabela.2.

**Tabela. 2: Parâmetros desenvolvidos em Matlab.**

Parâmetros	Valores
Dif. Pressão (Bar)	7,7
Ângulo do cone (°)	62,20
Velocidade rad. (m/s)	19,6

Num segundo momento modificamos o fluido utilizado nos ensaios para óleo vegetal de soja e aplicando os mesmos conceitos referentes ao óleo Diesel daremos continuidade na nossa pesquisa. Estabelecendo os valores de: densidade do gás ambiente  $1,225\text{Kg/m}^3$ , temperatura do óleo  $75^\circ\text{C}$ , variação de pressão 7,7 bar e diâmetro do furo  $89,2\mu\text{m}$  chegamos aos seguintes coeficientes.

#### 4.1 RESULTADOS E COMENTÁRIOS:

A metodologia apresentada para caracterização do spray se mostrou adequada para obtenção dos parâmetros característicos da penetração. O método experimental utilizado para determinar os ângulos de abertura do spray e o prolongamento da penetração apesar de muito trabalhoso, permite avaliar qualitativamente variações entre os diferentes regimes de injeção de óleo vegetal, principalmente entre as condições mínimas e máximas de pressão.

A figura 8 apresenta o gráfico da penetração com injetores de diâmetros do orifício de diferentes.

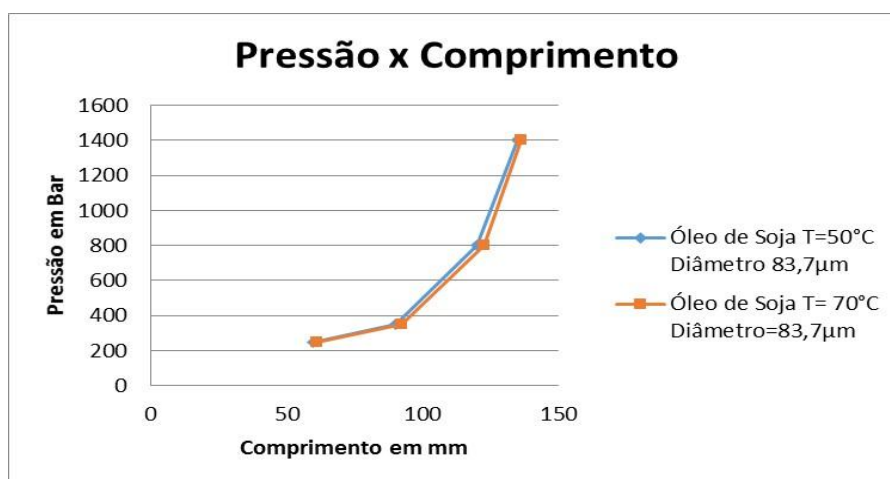


Fig.8: Gráfico da Penetração com utilização de diferentes diâmetros de saída.



A figura 9 apresenta as imagens da penetração dos jatos do injetor Common Rail.

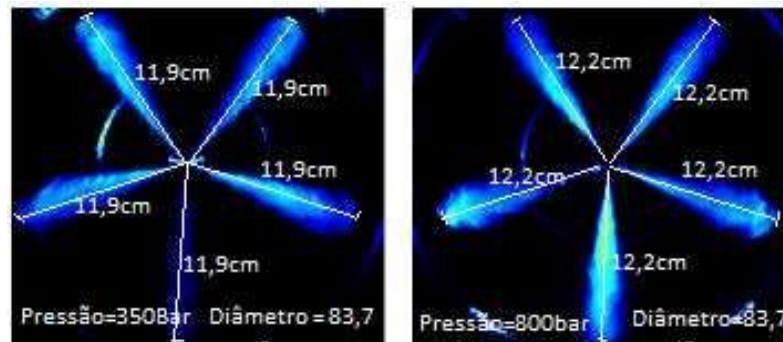


Fig.9: gráfico da penetração dos jatos Common Rail

A figura 10 apresenta os gráficos da influência da pressão na vazão mássica de Diesel e óleo de soja.

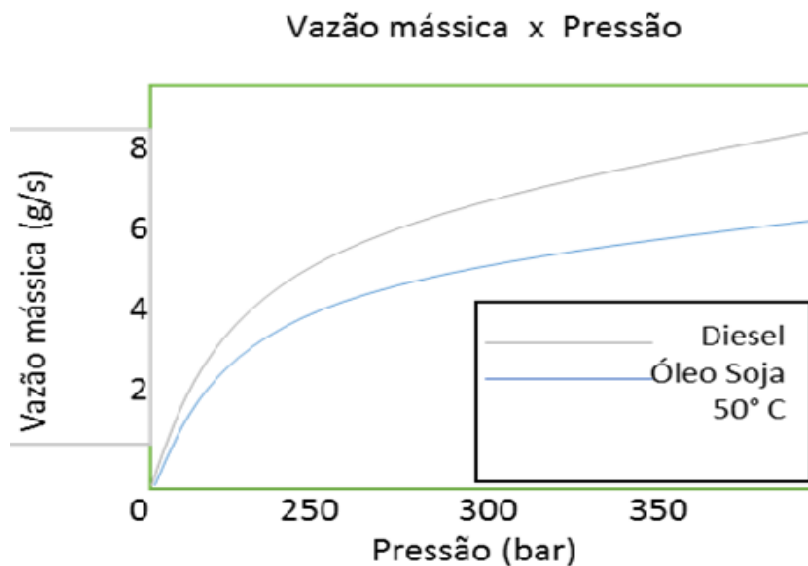


Fig.10: Gráfico da influência da pressão na vazão mássica



A figura 11 apresenta os gráficos da penetração de combustíveis avaliada por diversos autores aplicando os mesmos diâmetros do bocal e mesma pressão de injeção.

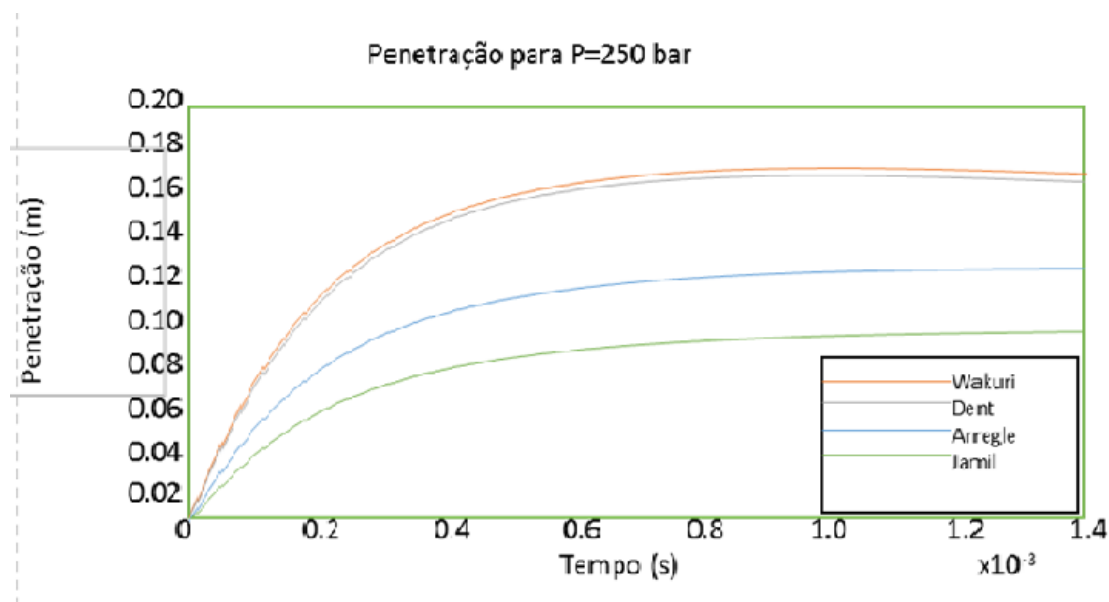


Fig.11: Gráfico da penetração avaliada por diversos autores

## CONCLUSÃO

As penetrações foram obtidas através da técnica de obtenção fotográficas e as medições do deslocamento dos sprays, foram realizadas através da aplicação de recursos de programas em Auto Cad. As penetrações também foram calculadas pela aplicação da equação desenvolvida por “Payri”, revelando os valores para a penetração do óleo vegetal de soja através dos parâmetros analisados durante esse estudo para posterior comparação com os resultados obtidos por análise fotográfica em nossa bancada. Os valores do alcance do spray ficaram entre 9cm e 14cm e serviram como base para determinação das estimativas do ganho na bomba injetora utilizada no motor em estudo.

Os comprimentos do spray foram obtidos através da seleção de imagens fotográficas obtidas em filmagens do spray com câmeras comum e de alta resolução. O processo de iluminação para captação das imagens se deu através de lâmpadas stroboscópicas e inserção de raio laser. Não ocorreram diferenças significativas nos valores das penetrações obtidas por imagens e por equações matemáticas. Nos resultados apresentaram pequenas diferenças ao serem comparados quando variamos o diâmetro do orifício de saída e a pressão de

injeção. A seleção de duas áreas no spray é sugerida para diferenciarmos os comprimentos de quebras em etapas, com gotículas maiores mais próximas ao orifício e gotículas menores em regiões mais afastadas.

Houve boa concordância entre os comprimentos obtidos com aplicação da metodologia fotográfica e os comprimentos obtidos por cálculos matemáticos nas penetrações. As estratégias de análises empregadas neste trabalho demonstraram constituir ferramentas capazes de gerar resultados para o aprofundamento e melhor entendimento dos conhecimentos relativos aos sprays da injeção de combustíveis para motores do ciclo Diesel. É importante ressaltar, que muitas condições operacionais dos testes não corresponderam àquelas encontradas na prática dentro da câmara de combustão dos motores e, portanto, o direcionamento do trabalho ocorreu no sentido de estabelecer metodologias de análises e na verificação da validade das estratégias empregadas.

Para melhorar a penetração, é fundamental ter-se em atenção o diâmetro do orifício, pois diâmetros reduzidos não originam gotas de grande dimensão. Como estas são as que proporcionam maior penetração, não se devem usar diâmetros de orifícios muito pequenos quando se pretendem elevadas penetrações.

A penetração das gotas de combustível no ar da câmara de combustão depende da sua velocidade e massa originais e das características do ar. Quanto maior for a velocidade e maior for a gota, mais longe acabará o seu trajeto, pois terá maior energia cinética e maior massa para evaporar.

Para novos trabalhos de pesquisadores da área de combustão, são sugeridas as aplicações das metodologias aqui empregadas para testes que consigam reproduzir com maior praticidade as condições de injeção dentro da câmara de combustão, como por exemplo, as pressões de trabalho do injetor, as condições de temperaturas e as pressões ambientes onde o combustível é injetado.

**Spray characterisation of vegetable oil at high temperature and pressure to Diesel cycle Engine operating in the dual Fuel mode**

**ABSTRACT**

This study is the characterization study of the penetration of spray oils to operate internal combustion engines Diesel cycle in the dual fuel mode. Through an

experimental approach theoretical, study the atomization phenomenon responsible for the generation of spray in gaseous environments. An Effective spray has the role of providing an ideal use of vegetable oil as a pilot light in Diesel engine operating in dual fuel mode. Within this context, this research brings as one of the objectives the establishment of analysis strategies of the important parameters associated with the spray produced in a spray using vegetable oils as fuel fluids. The application of the laws of fluid mechanics and the observation of phenomena in the stages of atomization correlated mathematical models of prediction of spray characteristics developed in several previous studies. The raw material in the acquisition of data for this study consists of images of atomization processes obtained by shadowgrafia technique and cataloging of the parameters involved. The approach is press the holding of scientific experimentation that will be used qualitative and quantitative techniques measuring the progression of photographic sequence of a film of spray. With photographic techniques, employ sophisticated methods of measurement through self-language for treating CAD. In this study will be rescued and analyzed several studies already existing on the research in the depth of penetration of Biodiesel and Diesel oil spray and established mathematical strategies to identify the boundaries of the spray. With this will be a comparative analysis with the results cataloged in our study. Finally, we present an analysis of the influence of each parameter, relations with background research and the applicability of the proposed correlations.

**KEYWORDS:** Penetration, vegetable oil injection, Spray, parameters.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- ABRAHAM. P. R. 2009 “Projeto de bico injetor Bi Combustível para Câmara de Combustão de Micro turbina a Gás Derivada de Turbo compressor Automotivo”.
- Dent. N. 1971 “Development of a Spray tip Penetration Correlations for Gas Jet Theory.
- ESPASANDIN. R. L 2011 “Estudo sobre a Utilização de Óleos de origem Vegetal em Motor Diesel não Modificado”.
- FARIA. M. D 2010 “Efeito do Biodiesel na Atomização do Combustível em Motores Diesel de Injeção Direta”.

- 
- FUKUMASU. N. K. 2013 “Influence of Droplet Dispersion on Ethanol Pulsed Spray Flames in a Swirling Airflow.”
- GUZZO. M 2012. Metodologias para Análises e Caracterização dos Sprays de um Injetor de Injeção Direta de Gasolina.
- HIROYASU. 1974 Largest Droplets Found on the Centraline of the spray.
- KUMAR. G, Spray Behavior Comparison in Diesel Engine with Biodiesel as Fuel.
- MORGAN. R, The Influence of Injector Parameters on the Formation and Breakup of a Diesel Spray.
- PAYRI. R, 2005. Determination of Diesel Sprays Characteristics in Real Engine In-Cylinder air Density and Pressure Conditions.
- \_\_\_\_\_. R, 2012. Effects of Gas Properties on Diesel Spray Penetration and Spreading Angle for the ECN Injectors.
- PIMENTEL. V. S. 2002 “Análise e Diagnose de Diesel-Geradores Operando com Óleo de Dendê In Natura”.
- RAMOS. D. M. 2009. Influência do Biodiesel na Injeção de um Motor Diesel.
- Silva, G. V, 2013 Caracterização Experimental do Efeito Combinado de Aditivos no Desempenho de Misturas – Biodiesel - Óleo Diesel.
- SOUZA. E. J 2009. Concepções e Desenvolvimento de Correlações Experimentais para Simulação, Controle e Otimização de Sprays Gerados em Atomizadores mecânicos Centrífugos.