

07.5.90

MAURÍCIO ASSUMPÇÃO TRIELLI  
Eng. Mecânico, Escola Politécnica da USP., 1980

SIMULAÇÃO DE SISTEMA DE INJEÇÃO  
PARA MOTORES DIESEL

Dissertação de mestrado apresentada  
ao Departamento de Engenharia  
Mecânica da Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo.

São Paulo , 1989



120 p.  
+ anexo 102

FJ-113

MAURÍCIO ASSUMPÇÃO TRIELLI  
Eng. Mecânico, Escola Politécnica da USP., 1980

SIMULAÇÃO DE SISTEMA DE INJEÇÃO  
PARA MOTORES DIESEL

Dissertação de mestrado apresentada  
ao Departamento de Engenharia  
Mecânica da Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Emílio Baccaro Nigro  
Depto. Engenharia Mecânica.

São Paulo , 1989

## RESUMO

Neste trabalho é desenvolvido um modelo matemático de sistema de injeção utilizado em motores diesel rápidos.

As propriedades físicas do combustível e as características físicas e geométricas detalhadas dos componentes do sistema são consideradas no modelo.

A abordagem utilizada modela a linha de injeção com parâmetros distribuídos e os componentes da bomba e do bico injetor com parâmetros concentrados.

As equações diferenciais que regem o comportamento do sistema são integradas numericamente, utilizando-se o método das características para estudar a propagação de ondas na linha de alta pressão, com condições de contorno obtidas do comportamento dinâmico dos elementos da bomba e do bico injetor.

Um conjunto de rotinas foi elaborado para facilitar a comunicação entre o usuário e o programa simulador desenvolvido para utilização em computador pessoal.

Os resultados da simulação de um sistema de injeção específico são apresentados e é feita uma comparação qualitativa com dados experimentais disponíveis na literatura.

## ABSTRACT

A mathematical model of a typical injection system applied in high-speed diesel engines is developed in this work.

The model, which takes into account the physical properties of the fuel and the physical and geometrical characteristics of the mechanical elements, simulates the dynamic behavior of the components while studying the pressure waves propagation in the injection line.

The high pressure line is modelled with distributed parameters while the pump and injection components are modelled with lumped parameters.

The differential equations, related to the dynamic behavior of the system, are integrated numerically. The method of characteristics is used to solve the wave equation in the injection line, using the boundary conditions obtained from the study of the dynamic behavior of pump and injector components.

A set of routines were prepared to facilitate the interaction between the user and the computer program, which was developed to run on a personal computer.

The results obtained by the simulation of a particular injection system are presented, and a qualitative comparison with experimental data available in the literature is made.



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1-A importância do sistema de injeção na evolução dos motores diesel.....	1
1.2-Características ideais de um sistema de injeção diesel.	4
1.3-Características e princípios de funcionamento dos sistemas de injeção diesel existentes.....	6
1.4-Objetivo da dissertação.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1-Histórico da evolução dos modelos.....	14
2.2-Influência dos parâmetros característicos no desempenho do sistema de injeção diesel.....	18
2.2.1-Curvas características.....	18
2.2.2-Efeito da variação da rotação do motor no desempenho do sistema.....	22
2.2.3-Efeito da rigidez da mola do injetor no desempenho do sistema.....	24
2.2.4-Efeito do comprimento da linha de injeção no desempenho do sistema.....	25
3. MODELO MATEMÁTICO.....	26
3.1-Linha de injeção.....	29
3.2-Bomba injetora.....	34
3.3-Bico injetor.....	43
3.4-Características geométricas e parâmetros físicos do sistema simulado.....	48
3.4.1-Válvula reguladora de pressão.....	49
3.4.2-Válvula de descarga.....	50
3.4.3-Elemento dosador da bomba injetora.....	51
3.4.4-Perfil do camo de acionamento da bomba injetora	59
3.4.5-Linha de injeção.....	60
3.4.6-Conjunto injetor.....	61
4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A SOLUÇÃO NUMÉRICA.....	62
5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	70
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	111

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXO I.....	i
ANEXO II.....	a

## 1- INTRODUÇÃO

### 1.1- A importância do sistema de injeção na evolução dos motores diesel:

O motor diesel vem sendo utilizado, desde os seus primeiros dias, em conjuntos propulsores caracterizados por potências específicas cada vez mais elevadas.

O seu desenvolvimento se deveu a algumas de suas vantagens em relação aos motores de ignição por faísca no que diz respeito à forma como transforma a energia química do combustível em energia interna no cilindro (taxa de liberação de calor).

Essas vantagens se devem, principalmente, à utilização de um sistema de injeção e à necessidade de elevadas taxas de compressão para garantir a ocorrência de uma combustão completa, por compressão, do combustível utilizado.

O sistema de injeção permite o estabelecimento do início da alimentação de combustível, em cada ciclo, tão próximo do final da etapa de compressão quanto se desejar, favorecendo as tentativas de reduzir as ocorrências de ignição prematura e detonação, apesar da natureza quasi isovolumétrica e instantânea da combustão que também caracteriza os motores de ignição por faísca. Desta maneira, a formação de pontos quentes dentro do volume do cilindro, que agem como geradores de pré-ignição, pode ser controlada e o tempo de propagação de ondas de pressão, geradas pela movimentação da carga dentro do cilindro, torna-se insuficiente para ter suas amplitudes elevadas, não comprometendo o início efetivo desejável da combustão.

É comum se ter um excesso de ar disponível para a combustão. Isso, associado ao sistema de injeção, pode permitir melhores



condições de controle sobre seu funcionamento em condições adversas como a marcha lenta e a plena potência. Em função das características do combustível diesel utilizado, obtém-se reduções nos limites das relações combustível-ar, que se encontram praticamente entre 1:50 a 1:20. Isto torna o motor diesel ideal para a sobrealimentação [1].

A combustão em um motor diesel de ignição por compressão pode ser entendida, simplificada, como composta pelas seguintes etapas básicas:

- atraso de ignição do combustível, que corresponde ao tempo acumulado nos períodos de atrasos físico e químico;
- elevação rápida de pressão promovida pela ignição da mistura vapor de combustível-ar formada no período de atraso de ignição;
- elevação controlada de pressão obtida pela queima da mistura formada posteriormente ao início da ignição, parcialmente regulada pela taxa de injeção;
- queima no tempo de expansão, após o término da injeção, do combustível remanescente na câmara de combustão, devido à maneira heterogênea que se distribui na câmara de combustão, ainda no período de atraso de ignição.

O período de atraso físico é aquele compreendido entre o início da injeção e a obtenção das condições adequadas para a reação ocorrer. Nesse período o combustível é atomizado, vaporizado, misturado ao ar e tem sua temperatura elevada para a condição de início de reação.

O chamado atraso químico é o período imediatamente posterior ao atraso físico, compreendido desde o início lento da reação até o instante em que a inflamação se caracteriza efetivamente.

A partir dessas observações, que demonstram a grande interdependência entre o ciclo motor e o sistema de injeção, é possível avaliar a importância e o grande empenho concentrado no



desenvolvimento desse componente pela sua influência no desempenho dos motores diesel.

A combustão espontânea, realizada através da injeção de combustível no ar comprimido, exige que no projeto deste tipo de motor alternativo de combustão interna, se utilize taxas de compressão mais elevadas do que aquelas comuns aos motores de ignição por faísca. É de se esperar, portanto, maiores rendimentos térmicos. Eficiências próximas àquelas de ciclos padrão-ar teóricos são atualmente obtidas devido tanto à qualidade de ignição (número cetano) dos combustíveis modernos [2,5], quanto à incessante procura por uma forma de minimizar o efeito das irreversibilidades inerentes do processo de combustão.

Se por um lado as altas taxas de compressão, necessárias à obtenção das temperaturas de auto-ignição da carga, obrigam uma construção mais robusta do motor, por outro lhe atribui melhores características de segurança de operação, durabilidade e versatilidade.

A essas características importantes, que inicialmente o viabilizaram, mesmo em aplicações cuja relação custo-benefício lhe eram pouco favoráveis, somam-se hoje as evoluções conseguidas com a pesquisa, desenvolvimento e uso de novos materiais de construção mecânica que lhe atribuem melhores características de desempenho e relação peso-potência.

Algumas das expectativas favoráveis à aplicação desses motores, mencionadas acima, foram confirmadas com o amadurecimento da geração dos chamados motores de combustão interna rápidos ou seja, de altas velocidades angulares de funcionamento [3].

Na tentativa de reduzir a relação peso-potência surgiu a necessidade de tornar a rotação do motor um parâmetro mais significativo na função que otimiza a potência específica.

é fácil imaginar o significado do período de injeção na limitação da rotação de funcionamento do motor e conseqüentemente a importância dos fenômenos físicos envolvidos.

Durante muitas décadas a compreensão e simulação da injeção foi perseguida. Entretanto, a falta de recursos computacionais que permitissem implementar cálculos elaborados provenientes de considerações fenomenológicas fez com que os projetos de sistemas de injeção se baseassem, quase que exclusivamente, nas características geométricas e mecânicas de seus vários componentes. Sómente nas duas últimas décadas se passou a utilizar os recursos de computação eletrônica no projeto dos sistemas de injeção.

Os motores diesel rápidos já são resultantes do emprego desses recursos para projetos postos à disposição nas últimas décadas. As otimizações relativas a consumo de combustível e produção de gases poluentes também deixaram de ser conseguidas exclusivamente através de experiências exaustivas e passaram a contar com a poderosa ferramenta da simulação computacional.

#### 1.2- Caraterísticas ideais de um sistema de inieção diesel:

Para que a combustão nos motores diesel ocorra da forma mais eficiente, independentemente do tempo disponível para se efetuar, um sistema de injeção diesel deve ter as seguintes características:

- a taxa de fornecimento de combustível ao motor no início da injeção não deve ser muito elevada para evitar um aumento exagerado da pressão no cilindro quando iniciar-se efetivamente o processo de combustão (pelo acúmulo de combustível na câmara de combustão durante o período de atraso de ignição) e reduzir o nível de ruído de funcionamento do motor;
- após o período acima mencionado o fornecimento de combustível deve ocorrer seguindo uma taxa crescente para facilitar que as gotículas

de óleo diesel, obtidas através de uma boa atomização, atinjam os pontos mais remotos da câmara promovendo a preparação de uma mistura vapor de combustível-ar adequada para a queima;

-a injeção deve-se encerrar abruptamente, evitando que grandes gotas e de pequena energia cinética sejam formadas, provocando a geração de fuligem (pela insuficiente quantidade de ar presente nas proximidades do injetor incapaz de queimar completamente essas gotículas) que, com grande probabilidade, seria rejeitada para a atmosfera, poluindo-a.

Em resumo, o sistema de injeção diesel deve ser composto por elementos que lhe permitam iniciar e controlar todo o processo de combustão, capacitando-o para dosar, seguindo uma curva de injeção no tempo, quantidades adequadas de combustível e promovendo sua atomização e a distribuição na câmara de combustão.

É importante verificar que os níveis de pressão e os tempos envolvidos nesta aplicação dificulta sobremaneira a utilização de qualquer outro tipo de sistema de injeção em substituição ao mecânico.

A Figura 1.2.1 abaixo mostra uma curva que reproduz as características típicas de um sistema de injeção.

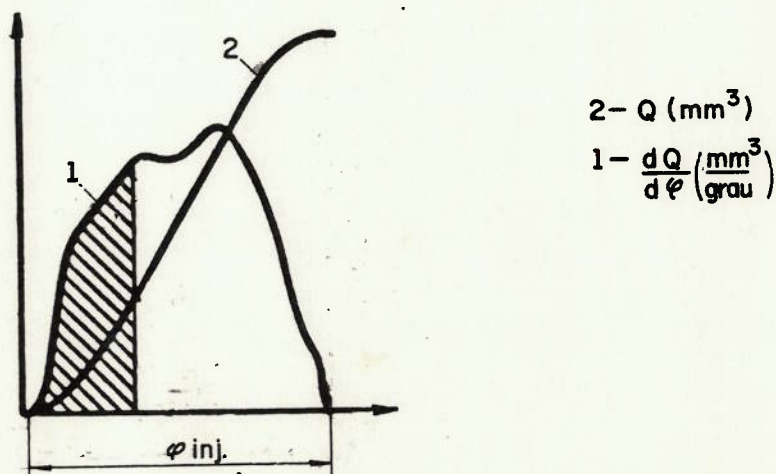


Figura 1.2.1- Curva de injeção típica de motores diesel rápidos [1].



Convém ressaltar ainda que essas funções devem ser realizadas com precisão, em todas as condições de carga e rotação previstas para o funcionamento do motor, com suprimento idêntico de combustível, em cada ciclo, para todos os cilindros do motor.

### 1.3- Características e princípios de funcionamento dos sistemas de injeção diesel existentes:

Um sistema de injeção de combustível diesel é constituído de vários componentes mecânicos, com funções específicas, cuja interação é fundamental para seu desempenho.

Em conformidade com a maneira com que o combustível é fornecido aos cilindros do motor, os sistemas de injeção se dividem em três tipos básicos:

- a) sistema common rail ou pressão-tempo que possui uma bomba para comprimir o combustível a níveis intermediários numa galeria comum aos elementos dosador-injetor de cada cilindro que definem a pressão e o tempo de injeção, comandados por eixo de camos;
- b) sistema distribuidor que possui uma única bomba, rotativa ou alternativa de pistões, para comprimir e assegurar o instante correto de injeção do combustível, associada a um dispositivo de dosagem e distribuição comum a todos os cilindros, e
- c) sistema de injeção individual que possui um elemento de compressão e dosagem de combustível para cada cilindro, acionado por um eixo de camos com movimento sincronizado ao do motor, que define o instante de injeção.

Apesar de ocorrer variações no arranjo e no número de componentes entre os sistemas existentes, os sistemas de injeção diesel possuem, basicamente, um componente para a elevação da pressão do combustível com ação sincronizada ao funcionamento do motor, um elemento injetor que promove a nebulização na câmara de



combustão do combustível proveniente de um dispositivo dosador, e uma tubulação para interligar os dois componentes anteriores.

O sistema de injeção common-rail se caracteriza por realizar um controle automático sobre o tempo de injeção através da restrição à injeção imposta pelos orifícios de dosagem de seus injetores e pela pressão reinante no seu circuito de injeção. Essa pressão é determinada pela ação de uma válvula reguladora de pressão sobre a galeria comum ligada a uma bomba alimentadora de alta pressão no caso de aplicação estacionária ou, comandada pela rotação do motor e pela posição do acelerador, que libera combustível para um acumulador, nas aplicações veiculares.

Esse tipo de sistema apesar de um princípio de funcionamento bastante simples, necessita de grandes precisões dimensionais na fabricação de seus componentes de dosagem para assegurar igual distribuição de combustível entre os cilindros (ver Figura 1.3.1)

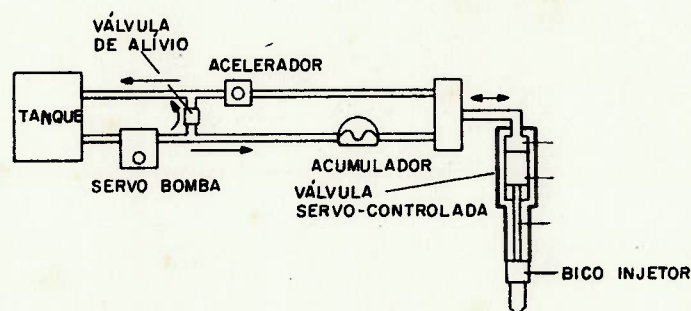


Figura 1.3.1 Sistema de injeção common rail [4]

Pelos custos elevados envolvidos em sua fabricação vem sendo atualmente utilizado somente por alguns poucos fabricantes de motores Diesel (Cummins) de porte médio, aproveitando sua capacidade de auto-regulação em motores estacionários (ver Figura 1.3.2), numa alternativa de sistema denominado P-T (pressão-tempo) que utiliza baixa pressão no acumulador.

Observe que essa auto-regulação é conseguida uma vez que o suprimento de combustível é independente da rotação do motor. Se a velocidade angular diminui, o tempo de injeção aumenta realizando o controle automático da velocidade.

Esse tipo de sistema vem sendo, portanto, gradativamente substituído por sistemas que utilizam bombas dosadoras.

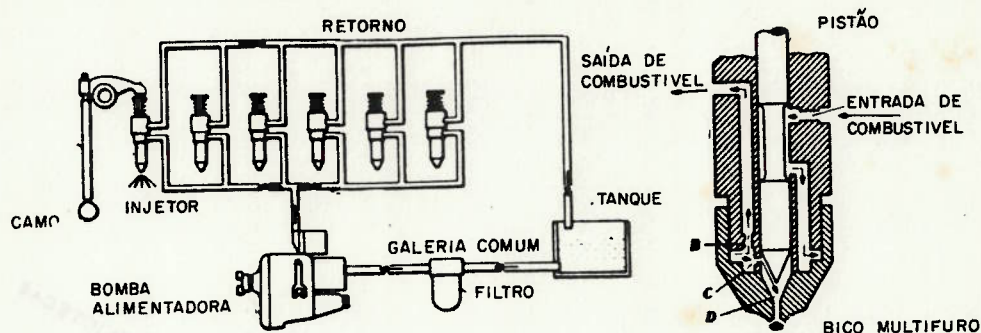


Figura 1.3.2 Sistema de injeção P-T Cummins [4]

O sistema distribuidor (ver Figuras 1.3.3 e 1.3.4) tem como principal característica um menor número de componentes que visa reduzir o custo de fabricação.

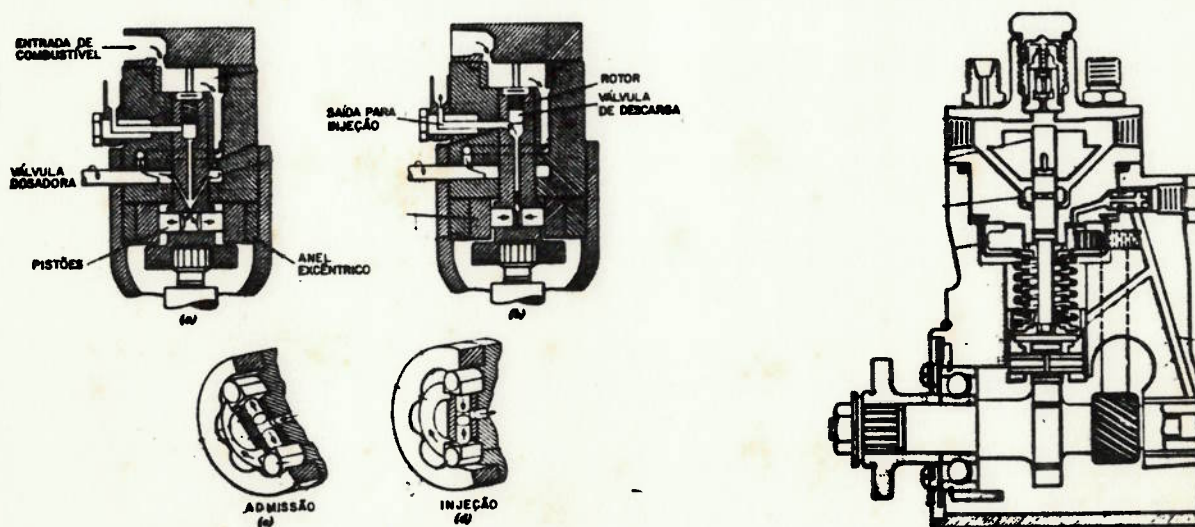


Figura 1.3.3 Sistema distribuidor rotativo [4]      Figura 1.3.4 sistema distribuidor alternativo [4]

Entretanto, por possuir um número maior de superfícies de vazamento, torna-se difícil utilizá-lo onde se necessita elevadas pressões de injeção. Neste caso, a complexidade construtiva do conjunto distribuidor para reprodutibilidade semelhante àquela dos demais sistemas de injeção fica consideravelmente aumentada, reduzindo sua vantagem inicial de custos de produção inferiores.

Essa complexidade aumenta ainda mais no projeto de distribuidores destinados a um número elevado de cilindros.

O sistema de injeção individual se apresenta, principalmente, nas três formas seguintes:

a-) como um conjunto compressor, dosador e injetor incorporado em uma única peça (unidade injetora);

b-) como um conjunto formado pelas três peças básicas (bomba compressora-dosadora, tubulação de alta pressão e conjunto injetor) disponível para cada um dos cilindros;

c-) como um conjunto formado por uma bomba injetora que incorpora, total ou parcialmente, os elementos compressores de cada um dos cilindros, e tubulações e injetores para cada cilindro do motor.

A existência dos sistemas do primeiro tipo(a) se justifica pelo interesse em eliminar as dificuldades introduzidas pelo projeto hidráulico da tubulação de alta pressão (linha de injeção).

Entretanto, surge um novo problema quando se deseja obter uma atomização adequada no funcionamento do motor em baixas rotações pela inexistência do efeito acumulador que a linha de injeção possui.

O projeto do injetor considera os níveis de pressurização necessários ao funcionamento em altas rotações mas em baixas rotações pode-se ter, entretanto, atomizações inadequadas que promovem a formação de fuligem e aumento do nível de poluentes nos gases de escapamento.



Na tentativa de contornar esse problema, costuma-se utilizar injetores com muitos orifícios de diâmetro bastante reduzido em relação aos utilizados nas demais formas de apresentação de sistemas de injeção individuais; aumenta-se, assim, o nível de tecnologia empregado em sua fabricação e, portanto, seu custo.

Os demais conjuntos relacionados se distinguem basicamente pela aplicação dedicada ou a motores de grande porte e baixa rotação máxima (b), ou a motores de pequeno e médio porte e de alta rotação (c). Utilizam, entretanto, o mesmo princípio de funcionamento conforme descrito abaixo.

Esses conjuntos, equipados com bomba compressora-dosadora alternativa de pistão, são os mais utilizados no Brasil e, por esse motivo, foram os escolhidos para análise mais detalhada.

Neles, o pistão da bomba compressora-dosadora é acionado por um eixo de camo conforme pode ser visto na Figura 1.3.5.

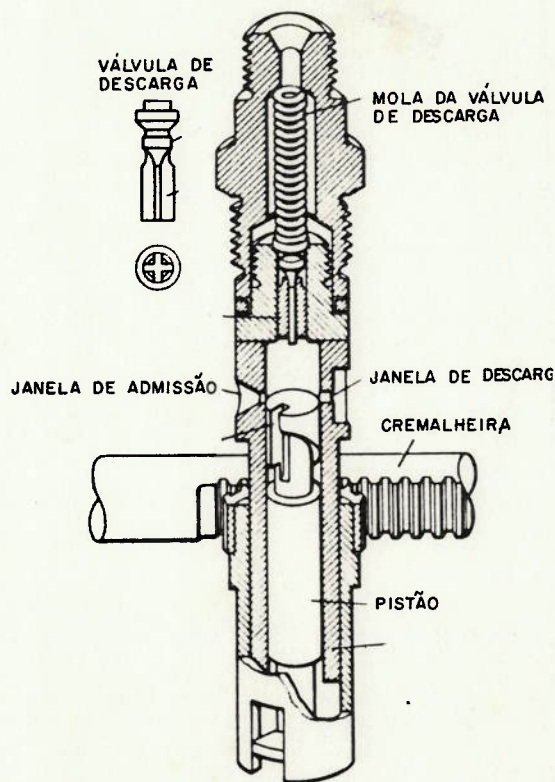


Figura 1.3.5 Vista em corte de um elemento dosador [4]

Seu funcionamento pode ser descrito, sucintamente, da seguinte forma:



Durante o movimento ascendente do pistão, enquanto as aberturas(janelas) A e B do cilindro do elemento dosador se encontram descobertas, a bomba alimentadora preenche a câmara de pressão da bomba com combustível. Em muitas aplicações é comum essas aberturas serem coincidentes.

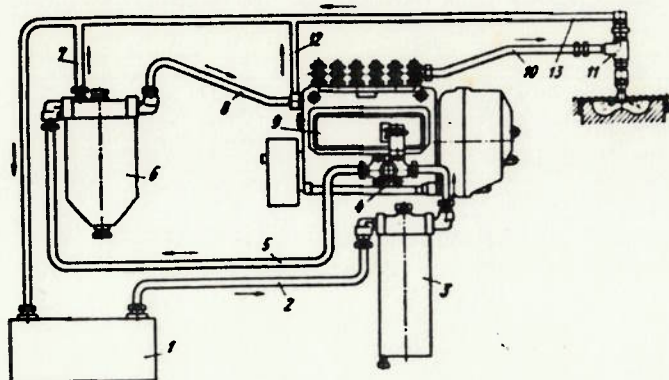
Com o fechamento das janelas o combustível é comprimido, forçando a válvula de descarga C deixar sua sede.

Com a abertura da válvula de descarga, a energia elástica acumulada pelo combustível na sua compressão induz a geração de ondas de pressão que se propagam pela linha de injeção. A amplitude dessas ondas atinge valores suficientemente altos para desalojar a válvula de agulha do conjunto injetor e mantê-la aberta o tempo necessário para a injeção se processar.

Quando o pistão da bomba, ainda no seu movimento ascendente, descobre a abertura B (ou a janela única), inicia-se o processo de fechamento da válvula de descarga. Isto se deve à queda de pressão na câmara da bomba devido ao escoamento de um volume de combustível residual para o reservatório comum a todos os dosadores (galeria).

A quantidade de combustível injetado é função, entre outros parâmetros, do deslocamento sofrido pelo pistão enquanto as janelas são mantidas fechadas. Esse deslocamento é definido previamente pela posição da cremalheira R que interfere na geometria do sistema com o movimento rotativo de uma ranhura helicoidal existente no pistão dosador.

Para melhor entendimento um desenho de conjunto de um sistema "completo" de injeção de combustível pode ser visto na Figura 1.3.6. Nele os elementos compressores-dosadores estão agrupados na chamada bomba injetora em linha.



- 1 - tanque de combustível;
- 2,5,7,8 e 12 - linhas de combustível;
- 3 - filtro primário;
- 4 - bomba de transferência;
- 6 - filtro secundário;
- 9 - bomba injetora;
- 10 - linha de injeção;
- 11 - conjunto injetor;
- 13 - linha de retorno de combustível.

Figura 1.3.6 - Desenho de conjunto de um sistema de alimentação de combustível [1]

#### 1.4- Objetivo da dissertação:

No dimensionamento dos equipamentos atuais de injeção para motores diesel rápidos deve-se considerar os vários fenômenos presentes no processo, além dos parâmetros meramente geométricos e mecânicos de projeto.

A não utilização de métodos de cálculo que levem em consideração, simultaneamente, os processos de fornecimento de combustível e a preparação e combustão da mistura, torna extremamente difícil determinar as características ótimas de funcionamento do sistema, mesmo para os mais simples tipos de câmara de combustão. Deve-se observar que essa otimização é exaustiva e praticamente impossível pela simples variação dos vários parâmetros de injeção em ensaios de bancada.

O objetivo desse trabalho é facilitar a determinação dessas características. Foi, portanto, elaborado um método de cálculo capaz de reproduzir, através de simulação, o processo que se

desenvolve na injeção de um sistema real de elementos dosadores individuais, considerando seus diversos componentes e particularidades .

A simulação deve permitir evidenciar possíveis anomalias causadas pelo uso indevido ou não otimizado dos componentes de um conjunto motor-sistema de injeção.

Entre as várias anomalias possíveis, relaciona-se:

- o levantamento não sincronizado da agulha da válvula do injetor com o árvore de manivelas do motor que, além de gerar instabilidades no funcionamento do motor, pode promover a ocorrência da inconveniente injeção secundária (que aumenta o consumo de combustível e o nível de emissão de poluentes e reduz a vida útil do conjunto propulsor);
- o movimento indevido da válvula do injetor pela ação das elevadas pressões observadas no cilindro resultantes da combustão, devido a um mal dimensionamento dos componentes discretos do sistema dinâmico ;
- erosão por cavitação em vários pontos do equipamento pela ocorrência de pressões iguais a de vapor do combustível;
- altas velocidades de impacto da válvula de descarga e agulha do injetor com suas sedes;
- instabilidades de rotação devidas a dosagens diferentes de ciclo para ciclo, etc.

O método de cálculo mencionado consiste num modelo matemático de um sistema de injeção completo. Sua validação permite uma busca mais simples por um conjunto mais conveniente de parâmetros (geométricos e físicos considerados como referências de fabricação, padrões de regulagem iniciais ou variáveis de estado) para um bom desempenho do sistema de injeção em toda a sua faixa de trabalho.

O modelo matemático, entretanto, terá seus resultados comparados com dados experimentais da literatura.



## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Histórico da evolução dos modelos:

Um grande número de procedimentos de natureza experimental e teórica foi utilizado no estudo de sistemas de injeção ao longo deste século.

Conforme mencionado anteriormente, antes de 1970 poucos desses estudos eram baseados na simulação matemática devido ao grande número de cálculos envolvidos na computação. Procedimentos experimentais não muito científicos, baseados em tentativas e erros, dominavam o projeto e desenvolvimento de novos sistemas de injeção.

Apesar das dificuldades enfrentadas alguns pesquisadores conseguiram fazer contribuições relevantes ao procurar avaliar qualitativamente as influências das variáveis envolvidas no processo de injeção. Geraram estudos analíticos que, entretanto, eram válidos apenas para modelos linearizados de sistemas de injeção bastante simplificados; os resultados eram apresentados, normalmente, na forma de métodos gráficos para aplicação em projetos [6].

Em 1939, por exemplo, Giffen e Row [7] já haviam desenvolvido um modelo composto por expressões algébricas representativas do sistema de injeção, obtidas de equações diferenciais desenvolvidas na forma de diferenças finitas, numa tentativa de análise quantitativa.

Várias publicações das décadas posteriores se dedicaram a apontar algumas causas de imprecisões em modelos de sistemas de injeção. Entre essas causas salientavam-se a pressão residual



na linha de alta pressão e a dependência dos coeficientes de descarga do número de Reynolds do escoamento, da relação comprimento-diâmetro e da configuração dos reservatórios a montante dos orifícios de passagem. No próprio trabalho de Giffen e Row [7] já se observava restrições ao uso de coeficientes de descarga fornecidos pela literatura da época.

Considerar essas dependências, entretanto, é uma tarefa árdua ainda hoje. Exige, via de regra, a montagem de complicados e onerosos arranjos experimentais cujos resultados tem generalidade questionável, principalmente devido à grande variedade de escoamentos transientes comumente observados num processo de injeção. O trabalho realizado por Notz [8] demonstra parcialmente essa dificuldade.

Em 1960, com o início da era da computação eletrônica, Knight [9] reuniu todo o conhecimento anterior na forma de um programa processável digitalmente. Introduziu ainda modelos dos fenômenos de vaporização na linha de injeção e de atrito viscoso com o intuito de obter uma forma de prever a ocorrência da injeção secundária. Simultaneamente, outros pesquisadores faziam simulações em computadores analógicos.

Becchi [10], em 1962, elaborou um modelo que fazia uma representação detalhada do injetor e da bomba, mas não considerava atrito viscoso e possibilidade de ocorrência de cavitação na linha de injeção. Em 1968 Brown e McCallion [11] incluíram esses aspectos de escoamento no modelo de Becchi.

Em 1971, o mesmo Becchi [12] introduziu no seu modelo considerações sobre a elasticidade da linha e condições de alimentação da bomba injetora.

A análise da influência da geometria dos componentes no desempenho do sistema começa efetivamente em 1969 com o trabalho de Walwijk, Van der Graaf e Jansen [13], em que um arranjo

experimental foi montado para validar a simulação computacional da dinâmica do movimento da válvula de descarga de uma bomba injetora; pretendia-se com isso prever o movimento resultante da válvula de agulha bem como pressões em vários outros pontos do sistema.

Nesta mesma linha é importante mencionar o trabalho de Henein, Singh e El-Erian [14], que estuda os efeitos da rotação, da posição de cremalheira, da rigidez da mola do injetor e comprimento da linha de injeção no desempenho do sistema.

O fenômeno de vaporização tem sido modelado como um elemento de volume, que cresce ou entra em colapso, quando se observa variações de massa e de energia elástica, peculiares ao fenômeno, em trechos de um sistema discretizado. Yamaoka e Saito [31], por exemplo, definem uma grandeza que assume valores positivos ou negativos de acordo com a taxa de variação da porcentagem de vapor nos elementos de volume considerados. Alguns autores, entretanto, assumem simplesmente pressões nulas nestes casos [9,32]; outros utilizam a pressão de vapor do combustível numa temperatura média de trabalho do sistema [16].

De qualquer forma é importante observar que numa mistura bifásica, com pequenas porcentagens de vapor em volume, o módulo de elasticidade volumétrica do fluido se reduz consideravelmente enquanto que sua massa específica não se altera na mesma proporção. Em consequência disso, a velocidade de propagação das ondas de pressão se altera e influi nos tempos envolvidos no processo de injeção.

Apesar de ser praticamente impossível eliminar completamente a vaporização, é viável, através de projetos bem desenvolvidos, reduzir significativamente a ocorrência desse fenômeno.

Nos modelos recentes, que usam computação eletrônica, têm-se dado ênfase aos aspectos de estabilidade e convergência da solução

numérica do problema. Na bibliografia revisada observa-se uma freqüente preferência pela utilização de três métodos na solução de um sistema de equações representativas.

Wylie et alii [15] utilizam um método preditor-corretor para resolver os sistemas de equações diferenciais ordinárias que fazem parte dos modelos da bomba injetora e bico injetor. Utilizam o método das características para obter a vazão e a magnitude das ondas de pressão, instantaneamente, em cada trecho da linha de injeção.

Marcic [16] utiliza o método de expansão de Runge-Kutta para resolver todo o conjunto de equações resultante de seu estudo. Trata o fenômeno hidrodinâmico na linha de injeção através da composição das ondas de pressão, geradas pelo movimento do pistão da bomba e refletidas, total ou parcialmente a nível do injetor, em função da posição da válvula de agulha, como fizeram Obert [4] e Burman [6].

Becchi [11] utiliza um método iterativo para a solução simultânea de um conjunto de equações de natureza algébrica, correspondentes aos balanços de massa e energia nos elementos de volume que caracterizam seu modelo.

É usual, em todos esses casos, se aplicar métodos numéricos que se caracterizam pela redução automática do incremento de tempo  $t$ , sempre que um erro de aproximação, definido no próprio método, for superior a um valor pré-estabelecido [17].

Alguns resultados, considerados comuns aos vários trabalhos revisados, fornecem subsídios para a análise da sensibilidade e robustez de um modelo de sistema de injeção.

No próximo item são apresentados alguns resultados consagrados obtidos da literatura que servirão de base de comparação para o modelo desenvolvido.



## 2.2 Influência dos Parâmetros Característicos no Desempenho de Sistemas de Injeção Diesel:

Com a finalidade de dar subsídio à análise do modelo matemático desenvolvido é conveniente descrever alguns resultados experimentais obtidos de um sistema de injeção real [14] variando alguns de seus parâmetros característicos tais como rotação, comprimento de linha de injeção e rigidez da mola da válvula de agulha do injetor. Esses resultados foram obtidos de um sistema distribuidor que equipa um motor diesel rápido de alta potência.

O fato dos resultados se referirem a um sistema distribuidor não compromete uma comparação futura de resultados reais e simulados para verificar a sensibilidade do modelo, pois os resultados apresentados correspondem a um único conjunto injetor. A menos de valores numéricos associados às grandezas de interesse pressão e vazão, as mudanças de desempenho devem se encaminhar no mesmo sentido.

### 2.2.1 Curvas características:

A Figura 2.2.1.1 a seguir mostra quatro curvas de pressão de combustão, em função do ângulo de camo da bomba injetora, para uma dada condição de rotação e carga do motor.

Essas curvas foram obtidas por transdutores de pressão piezoelétricos dispostos convenientemente na câmara de pressão da bomba injetora (P.C.), na câmara de descarga (D.C.) e nas extremidades da linha de injeção próximas à bomba injetora (L.P.) e do conjunto injetor (L.I.). Foi utilizado, também, um transdutor indutivo de posição para medir o deslocamento da agulha do injetor.

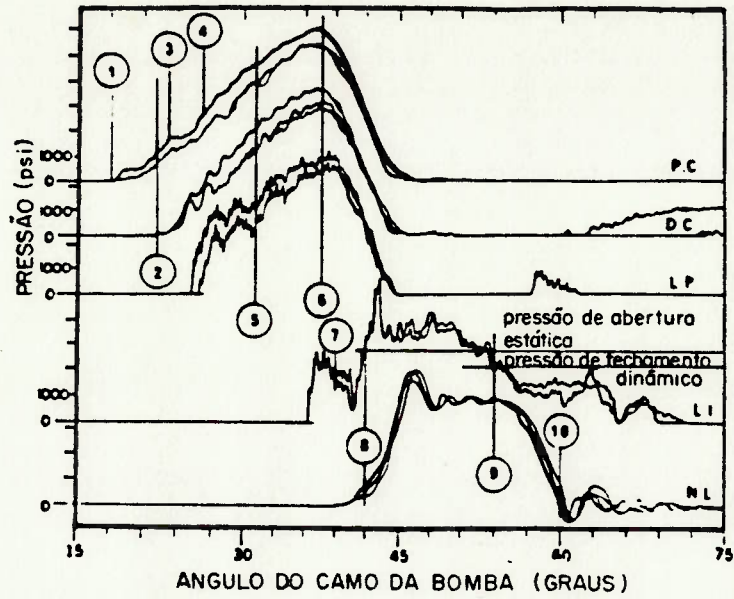


Figura 2.2.1.1 Curvas de pressão do combustível e de levantamento da agulha do injetor - [14].

A Figura 2.2.1.2 mostra, num desenho esquemático, a localização dos transdutores de pressão no sistema de injeção.

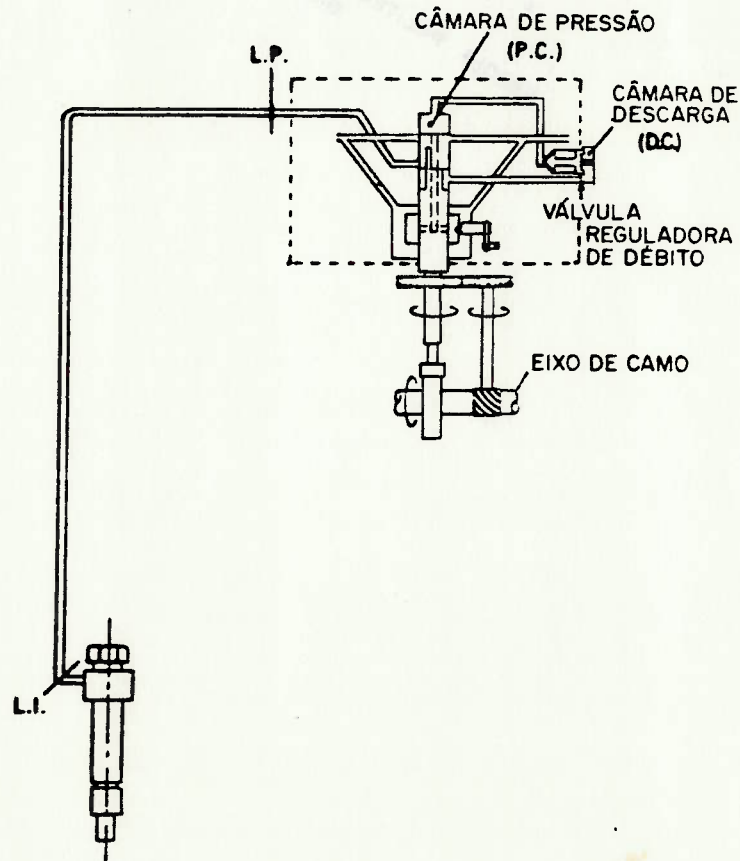


Figura 2.2.1.2 Localização dos transdutores de pressão no sistema de injeção descrito - [14].

Os eventos assinalados na Figura 2.2.1.1 com os números de 1 a 10 podem ser descritos simplificadaamente como segue:

1- 18 graus: Início da pressurização do combustível na câmara de pressão da bomba, causado pelo movimento ascendente do pistão dosador apesar da janela de admissão ainda se encontrar descoberta pelo cilindro do elemento dosador.

2- 22 graus: Início do movimento de abertura da válvula de descarga, não se observando ainda elevação de pressão na linha de injeção.

3- 23 graus: A válvula de descarga se movimenta no sentido de deixar sua sede e causa uma mudança no coeficiente angular na curva de elevação de pressão na câmara da bomba. Esse ponto varia de um ciclo de injeção para outro.

4- 26 graus: A janela de admissão (A) se fecha e a taxa de elevação de pressão na câmara de pressão da bomba volta a aumentar e inicia-se a propagação de ondas de pressão de amplitude significativa na linha de injeção. Este ponto é determinado pela geometria do sistema.

5- 31 graus: Neste instante se estabelece efetivamente o escoamento pela válvula de descarga. Note que, apesar dos elevados níveis de pressão no início da linha, a pressão na extremidade da linha próxima ao injetor é ainda a pressão residual do ciclo anterior.

6- 37,5 graus: A janela de descarga (B) se abre e, neste caso, a agulha da válvula do injetor ainda não deixou sua sede pois sua pressão de abertura estática ainda não foi obtida no final da linha de injeção. Neste ponto, determinado também pela geometria do sistema, inicia-se a queda das pressões nas câmaras de pressão e de descarga da bomba injetora.

7- 39 graus: A agulha da válvula do injetor começa a deixar sua sede. Isso ocorre após se ter transcorrido um intervalo de tempo correspondente a aproximadamente 1 grau de camo desde que a pressão



no final da linha de injeção superou o valor da pressão estática de abertura do injetor. Este tempo é necessário para que as perdas de pressão no escoamento entre o final da linha e a agulha, devidas à singularidades existentes neste trecho, sejam superadas por ondas de pressão de maior amplitude que se sucedem. A onda de pressão negativa resultante da abertura da agulha também, coerentemente, atinge a posição L.I. com o mesmo atraso.

8- 42 graus: O combustível atinge novamente a pressão de abertura estática da válvula do injetor em L.I.. Com o atraso mencionado anteriormente se observa um movimento significativo da agulha em relação a sua sede. Este instante também varia com as variações de ciclo para ciclo típicas do sistema.

9- 54 graus: O combustível atinge a pressão de fechamento dinâmico da válvula em L.I.. Com o atraso correspondente a agulha do injetor começa a fechar.

10- 60 graus: A válvula de agulha retorna a sua sede.

Neste caso pode se dizer que fechou definitivamente. Existem, entretanto, condições de operação mais adversas em que as ondas de pressão refletidas nas extremidades da linha de injeção se compõem construtivamente promovendo uma segunda abertura do injetor. Isso deve se evitado para impedir que combustível não queimado possa compor os gases de escapamento e ocorra carbonização na câmara de combustão.

À luz do exemplo dado, vamos considerar os efeitos da variação dos parâmetros mencionados anteriormente nas curvas de pressão e de deslocamento da agulha do injetor para posteriormente avaliar a sensibilidade do modelo.

### 2.2.2 Efeito da variação da rotação do motor no desempenho do sistema:

Para um dado par posição de cremalheira e rigidez de mola do injetor, os seguintes efeitos são observados no sistema real quando se aumenta a rotação do motor:

a) O volume de combustível deslocado pelo pistão dosador aumenta devido a redução nos tempos de vazamento de combustível pelas janelas existentes em seu cilindro e pela folga entre cilindro e pistão. O aumento de velocidade acarreta aumento na razão de elevação de pressão no tempo e no valor da pressão na câmara da bomba no instante de fechamento do orifício de admissão de combustível.

b) Devido às maiores pressões envolvidas, a vazão de injeção de combustível aumenta e o período de injeção diminui com a velocidade. Entretanto, a duração de injeção, em termos de ângulo de eixo de camo, aumenta com a velocidade.

c) O aumento de pressão na linha com a rotação provoca um aumento de velocidade de propagação das ondas de pressão no sistema, mas numa taxa menor de a do aumento de rotação. Isso resulta num menor atraso de injeção em termos de tempo e num maior atraso em termos de ângulo de rotação do eixo de camo.

As Figuras 2.2.2.1 (a) e (b) mostram os efeitos dos itens a e b, combinados para duas diferentes posições de cremalheira da bomba injetora.

A Figura 2.2.2.2 mostra os efeitos da velocidade nos atrasos de injeção estático e dinâmico. O atraso de injeção dinâmico corresponde ao período compreendido entre o início do movimento do pistão dosador e a abertura da válvula de agulha do injetor; o atraso estático de injeção corresponde ao período entre o fechamento da janela de admissão e a abertura da agulha do injetor.

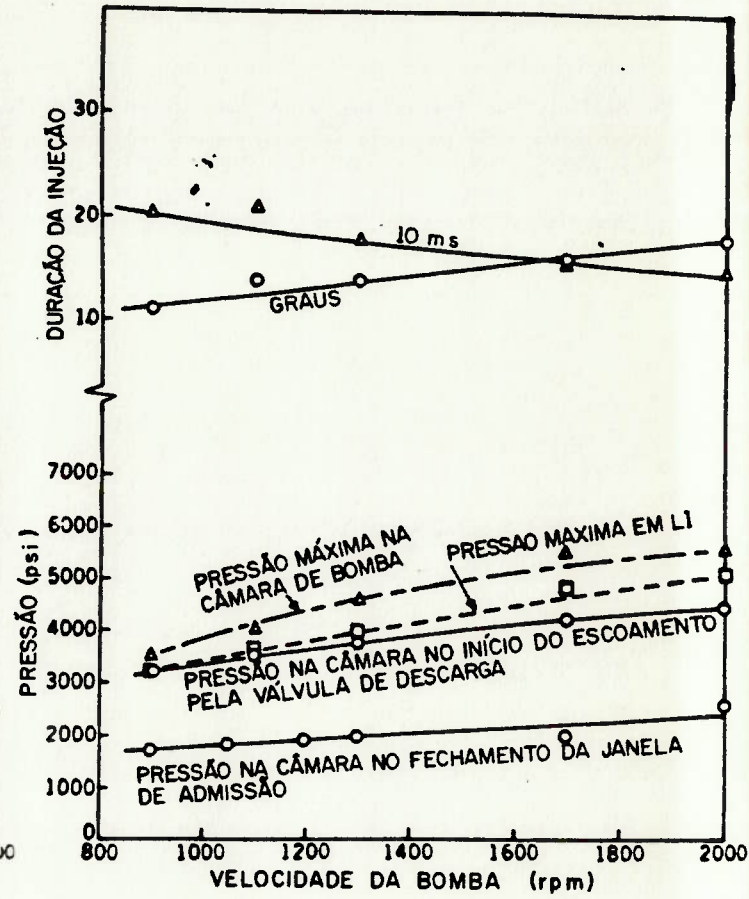
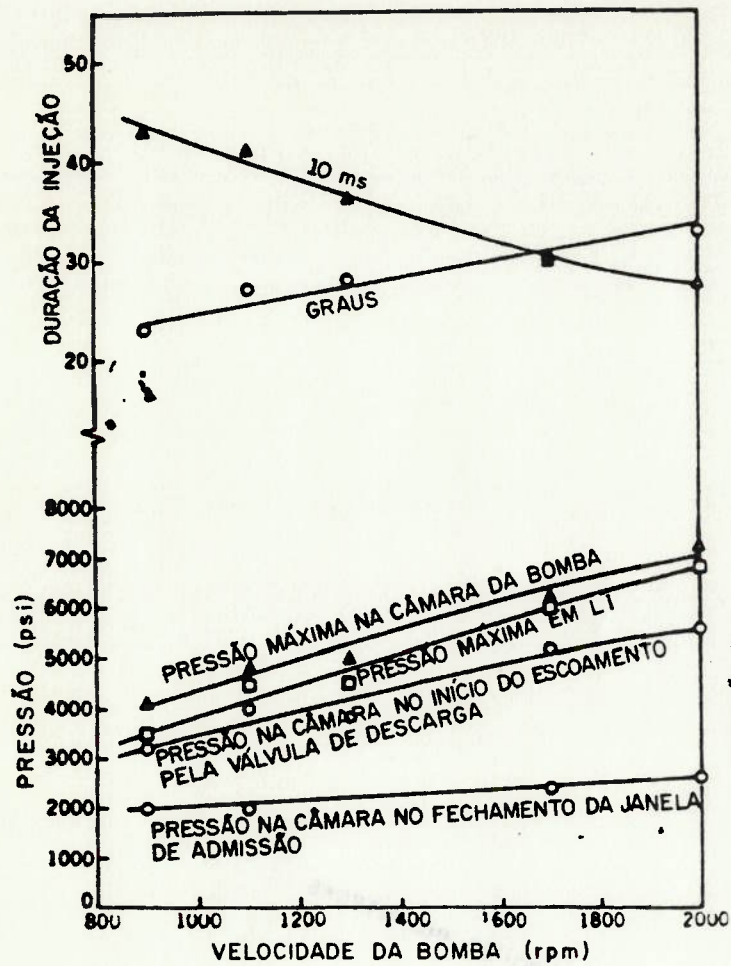


Figura 2.2.2.1 Efeito da velocidade nos transientes de pressão e duração de injeção (cremalheira 15mm(a), 8mm(b)) - [14]

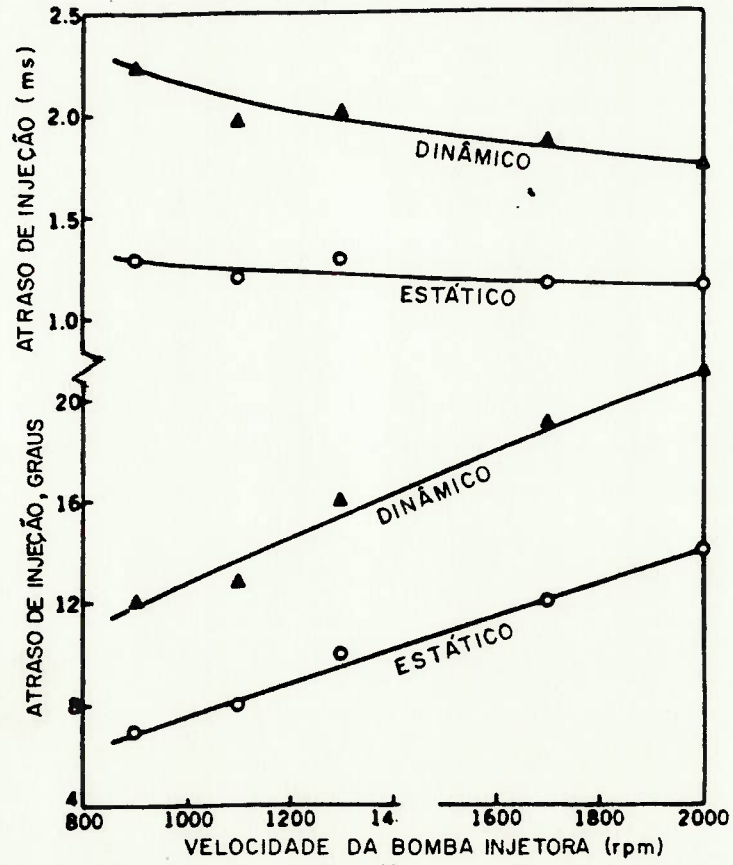


Figura 2.2.2.2 Efeito da rotação no atraso de injeção - [14]



### 2.2.3 Efeito da rigidez da mola do injetor no desempenho do sistema

a) A Figura 2.2.3.1 a seguir mostra que a mudança na rigidez da mola do injetor não tem efeito significativo no desenvolvimento da pressão nas câmaras de pressão e de descarga da bomba injetora. Na extremidade da linha de injeção próxima à bomba observa-se um ligeiro atraso nesse desenvolvimento. No caso considerado, existe uma independência entre os eventos que ocorrem na bomba e na extremidade da linha próxima ao conjunto injetor, entretanto pode-se dizer que a amplitude das ondas de pressão, a nível de L.I., aumenta para a mola de maior rigidez.

b) A duração da injeção aumenta com a diminuição da rigidez, devido, principalmente às reduções consequentes nas pressões de abertura e fechamento da agulha da válvula do injetor.

c) O atraso de injeção diminui quando a mola menos rígida é utilizada devido a menor pressão necessária para a abertura da válvula de agulha.

d) O volume de combustível dosado aumenta com a elasticidade da mola devido ao maior período de injeção.

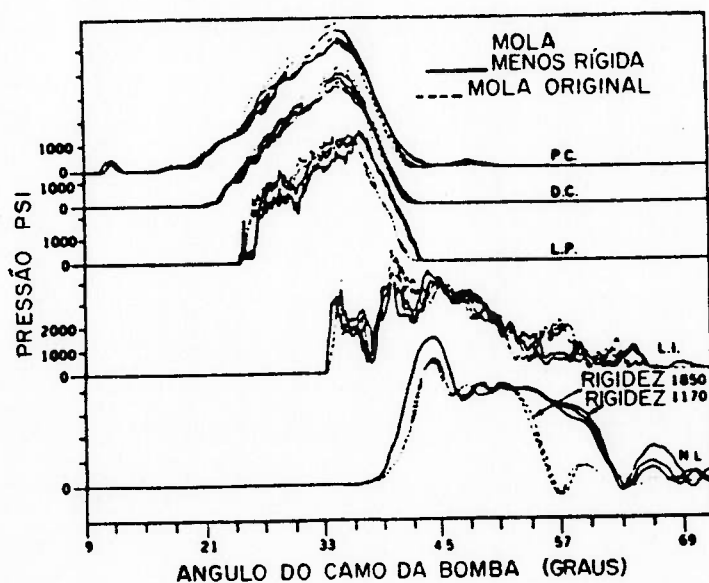


Figura 2.2.3.1 Efeito da rigidez da mola do injetor no desempenho do sistema - [14].

#### 2.2.4 Efeito do comprimento da linha de injeção no desempenho do sistema:

A Figura 2.2.4.1 abaixo mostra o efeito do comprimento da linha no desempenho do sistema considerado.

Pode-se observar que:

- No caso considerado não há diferença significativa entre as pressões observadas nas câmaras de pressão e de descarga da bomba injetora quando o comprimento da linha foi duplicado. Entretanto, as variações de pressão ao longo do sistema de ciclo para ciclo foram reduzidas; pode-se atribuir esse resultado a maior capacidade do sistema.
- A duração de injeção praticamente não se altera com o comprimento da linha.
- A duplicação do comprimento da linha acarreta um aumento do atraso de injeção devido ao maior caminho percorrido pela onda de pressão.
- Não se verifica, no caso, variação significativa no volume de combustível dosado.

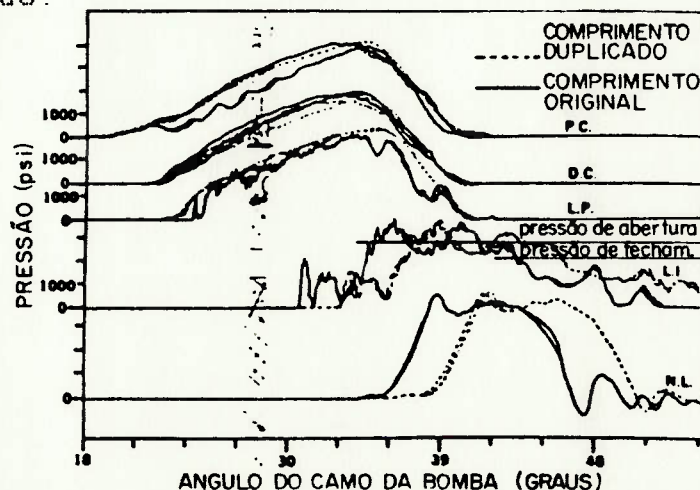


Figura 2.2.4.1 Efeito do comprimento da linha de injeção no desempenho do sistema - [14].

### 3 - MODELO MATEMÁTICO

O modelo matemático do sistema de injeção foi desenvolvido a partir de seus componentes básicos mostrados na Figura 3.1

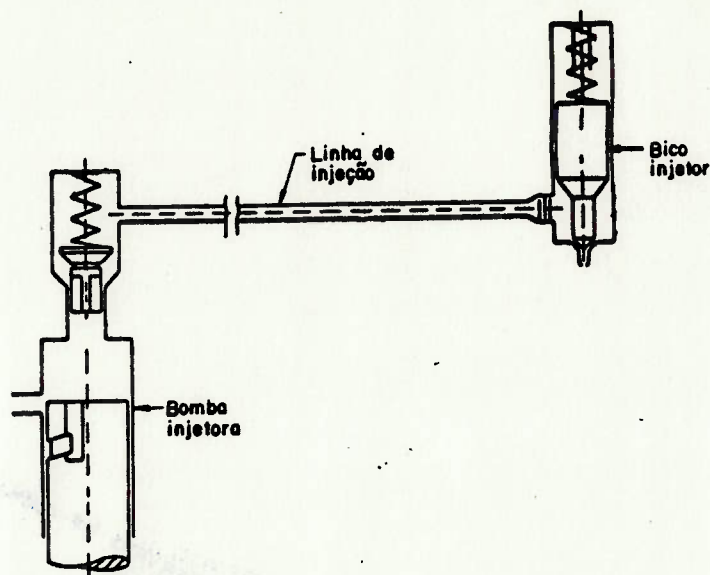


Figura 3.1 Componentes básicos do sistema modelado [8]

Nesse modelo foram feitas considerações sobre:

- o efeito da compressibilidade do fluido nas várias regiões do escoamento onde se observa valores elevados de pressão e regime não permanente de escoamento;
- o efeito da viscosidade do fluido no escoamento e no movimento dos componentes do sistema;
- a dinâmica do movimento dos componentes móveis, considerando o amortecimento viscoso característico do combustível utilizado;
- a influência da geometria dos componentes, incluindo o perfil do camo da bomba injetora e sua sincronização de funcionamento com o motor;
- o significado dos vazamentos de combustível nas interfaces de elementos móveis e fixos bem como o das singularidades existentes



no sistema, principalmente orifícios de passagem.

O modelo foi desenvolvido dividindo o sistema de injeção em três partes, considerando a diferença de equacionamento que deveria ser dada à linha de injeção, à bomba injetora e ao bico injetor.

O modelo da linha de injeção foi desenvolvido considerando-se parâmetros distribuídos, enquanto que na bomba e no bico injetor foi utilizado um modelo de parâmetros concentrados.

Em cada volume concentrado de interesse foi admitido um valor único para a pressão. O efeito da compressibilidade do fluido na equação da continuidade correspondente foi ou não levado em conta, conforme a importância do volume tratado.

O anexo I apresenta uma discussão que avalia os tempos envolvidos no esvaziamento de um pequeno reservatório pressurizado. O resultado, obtido, confrontado com as escalas de tempo típicas do problema analisado, justifica a possibilidade de se ignorar a compressibilidade no equacionamento de pequenos volumes.

A linha de injeção constituiu um conduto forçado, de comprimento significativo, e submetido a um regime não permanente de escoamento de fluido compressível.

Esse tipo de escoamento possui um equacionamento bastante conhecido na literatura [18] que é aquele desenvolvido a partir da utilização de equações gerais do movimento e da equação da continuidade. Essas equações geram como resultado um conjunto de equações diferenciais parciais quasi-linear de natureza hiperbólica. A solução numérica desse conjunto de equações pode ser obtida utilizando-se de aproximações por diferenças finitas das equações diferenciais parciais. No modelo em questão utilizou-se do método das características [18,19].

Num equipamento de injeção diesel a bomba injetora é a principal fonte de perturbações no escoamento do combustível. As ondas de pressão que surgem a partir do movimento de seus componentes se

propagam por toda a linha de injeção e através do conjunto injetor; essas ondas de pressão são refletidas total ou parcialmente à nível do injetor, superpondo-se a outras produzidas subsequentemente.

Essas perturbações interferem no equilíbrio hidrodinâmico de vários pontos característicos do equipamento fazendo-os constituir fontes secundárias de perturbação.

No equacionamento desse conjunto foi levado em consideração além da compressibilidade do fluido e sua continuidade, as equações dinâmicas do movimento de algumas de suas peças móveis. Resulta daí um conjunto de equações computacionalmente compatíveis com o método das características utilizado na solução da linha de injeção. A solução simultânea dessas equações fornece as condições de entrada na linha de injeção.

As equações para descrever o escoamento do combustível no conjunto injetor são obtidas a partir de considerações semelhantes àsquelas utilizadas para a bomba injetora, obtendo-se também, portanto, equações de mesma natureza.

Aqui, em correspondência ao movimento do camo na bomba injetora, a pressão na câmara de combustão do motor é o parâmetro que exerce uma importante influência no funcionamento do conjunto. É necessário, portanto, utilizar-se de um método confiável de determinação de pressões indicadas para que a solução do conjunto de equações do injetor possam gerar condições adequadas de contorno para a extremidade final da linha de injeção. Na validação do modelo torna-se conveniente utilizar, se forem disponíveis, curvas de pressão indicadas obtidas diretamente de ensaios em bancada.

Em resumo: a análise total do sistema de injeção será conseguida a partir da utilização de um conjunto de equações de compatibilidade e fenomenológicas que estabelecem, instantaneamente, valores que servem como condições de contorno para a solução das equações diferenciais parciais que descrevem o fenômeno de

propagação de ondas de pressão nos vários pontos da linha de injeção.

### 3.1 - Linha de injeção:

O regime não permanente do escoamento do combustível na linha de injeção foi descrito pelas equações da continuidade e do movimento aplicadas num comprimento elementar  $dx$ .

A linha de injeção foi considerada rígida por se tratar de um tubo de parede espessa.

A equação da continuidade na forma diferencial para um volume de controle infinitesimal  $dV$ , em escoamento unidirecional em conduto indeformável, se reduz a:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) = 0 \quad (3.1.1)$$

ou,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \quad (3.1.2)$$

onde  $\rho$  representa a massa específica do combustível e  $u$  a velocidade média do fluxo de massa, considerada normal às seções de entrada e saída do volume de controle infinitesimal (ver Figura 3.1.1 abaixo).

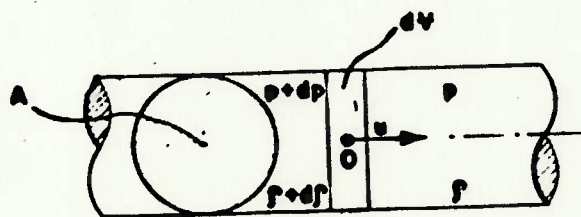


Figura 3.1.1 Volume de controle elementar



As perturbações (ondas de pressão) que geram a condição de regime não permanente na linha de injeção têm origem não só no movimento do pistão compressor-dosador da bomba injetora como também em outras fontes secundárias: válvula de descarga, orifícios de passagem de fluido, válvula de agulha do conjunto injetor, pontos do sistema com presença de vapor de combustível, etc.

Essas ondas de pressão se propagam na linha de injeção com uma velocidade  $c$  no meio fluido.

A passagem de uma onda de pressão de amplitude  $dp$  num trecho de comprimento elementar  $dx$  do meio fluido altera suas propriedades termodinâmicas. Entretanto, o processo a que o sistema em questão está submetido pode ser considerado isoentrópico. Torna-se possível, assim, relacionar as variações das propriedades termodinâmicas da seguinte maneira:

$$c = \left( \frac{\partial p}{\partial \rho} \Big|_{s=\text{cte}} \right)^{1/2} \quad (3.1.3)$$

Desta forma tem-se:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.1.4)$$

e,

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (3.1.5)$$

em função das variáveis independentes  $x$  e  $t$  do problema.

Alternativamente a velocidade  $c$  é expressa por:

$$c = \left( \frac{K}{\rho} \right)^{1/2} \quad (3.1.6)$$

onde  $K$  é o módulo de elasticidade volumétrica do fluido,

$$K = - \nu \frac{dp}{dV} \quad (3.1.7)$$

ou seja, uma relação entre a taxa de variação de um volume  $V$  do fluido com a pressão e esse volume.

Para o óleo diesel o valor médio de  $K$  é aproximadamente  $1600 \text{ MN/m}^2$ , sem a presença de ar ou vapor de combustível misturado. Praticamente, entretanto, esse valor reduz-se a cerca de 70% (setenta por cento) desse valor teórico. Sua variação com a pressão foi prevista na elaboração do modelo.

Assim sendo os valores de  $c$  nos pontos da linha de injeção são da ordem de  $1200 \text{ m/s}$  e as velocidades  $u$  máximas comuns a esse escoamento são inferiores a 3% desse valor, ou seja:

$$u \ll c \quad (3.1.8)$$

Portanto é razoável utilizar-se a hipótese que a escala de comprimento desse problema é  $c$  vezes maior que a escala de tempo.

Como resultado das observações acima pode-se escrever

$$u \frac{\partial \rho}{\partial x} \ll \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (3.1.9)$$

e,

$$u \frac{\partial u}{\partial x} \ll u \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3.1.10)$$

obtendo-se

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (3.1.11)$$

na substituição de 3.1.6 em 3.1.2

Além disso, os valores característicos do escoamento demonstram sua natureza subsônica e, portanto, justificam um tratamento do escoamento na linha de injeção como o de um combustível praticamente incompressível.

No caso particular do óleo diesel a variação de sua massa específica com a pressão é muito pequena dentro da faixa de pressões de interesse e observa-se que são pequenas as variações de temperatura nesse escoamento.

A massa específica foi, portanto, admitida constante não só nesta equação mas em todo o modelo.

A forma resultante para a equação da continuidade, considerando a substituição das equações 3.1.5 em 3.1.11 é:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (3.1.12)$$

A equação da quantidade de movimento aplicada ao volume de controle infinitesimal  $dV$  fornece a segunda relação entre as grandezas pressão e velocidade, de interesse no fenômeno que ocorre na linha de injeção.

A Figura 3.1.2 abaixo, utilizada na dedução dessa segunda relação, inclui a tensão de cisalhamento de origem viscosa presente no escoamento.

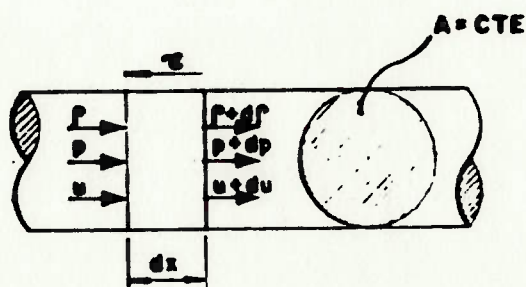


Figura 3.1.2 Elemento de volume infinitesimal utilizado para a dedução da equação do movimento



Dai:

$$pA - (p + dp)A - \tau s dx = \frac{d}{dt} (\rho u A dx) \quad (3.1.13)$$

onde A é a área da seção transversal do tubo considerado indeformável e S é o perímetro correspondente.

Admitindo-se que, no comprimento infinitesimal característico do volume de controle, o perfil de velocidades não se modifique substancialmente, pode-se lançar mão do equacionamento utilizado em escoamentos plenamente desenvolvidos para se avaliar as perdas de energia no escoamento.

É comum se considerar os efeitos da viscosidade no escoamento em regime, não permanente de um fluido real iguais aqueles utilizados na avaliação das perdas de energia em regimes permanentes de escoamento com as mesmas velocidades médias e propriedades do fluido.

Esta simplificação, utilizada no modelo, permite a utilização de expressões como a de Darcy-Weisbach em substituição à ardua tarefa de determinar experimentalmente estes coeficientes de perda de energia em regime transiente.

É conveniente observar, entretanto, que o comprimento da linha e o período de injeção são normalmente insuficientes para o desenvolvimento de uma camada limite que sirva como referência para cálculos de perdas de energia de escoamento em condutos forçados. Utilizou-se, neste caso, coeficientes de perda de carga distribuída  $f$  provenientes de expressões colhidas da literatura (Poiseuille e Blasius, respectivamente para regimes laminar e turbulento), calculados em cada subdivisão da tubulação como funções exclusivas do número de Reynolds.

A rugosidade relativa no tubo de alta pressão foi considerada suficientemente pequena para se poder admitir os escoamentos turbulentos como lisos e aplicar a equação de Blasius.

Com as considerações feitas acima e mantendo-se as hipóteses utilizadas na dedução da equação da continuidade pode-se escrever:

$$-Adp - \tau Sdx = \frac{\partial}{\partial t} (\rho Audx) + u \frac{\partial}{\partial x} (\rho Audx)$$

$$-A \frac{\partial p}{\partial x} dx - \tau Sdx = A \frac{\partial}{\partial t} (\rho u) dx + A \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) dx$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau S}{A} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial t} + 2u\rho \frac{\partial u}{\partial x} + u^2 \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau S}{A} + \frac{\partial}{\partial t} (\rho u) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) = 0$$

$$\left(1 + \frac{u^2}{c^2}\right) \frac{\partial p}{\partial x} + u \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\tau S}{A} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} + 2u\rho \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

Mas

$$\left(\frac{u}{c}\right)^2 \approx 0$$

e

$$u \frac{\partial \rho}{\partial t} + 2\rho u \frac{\partial u}{\partial x} = u \left( \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} \ll \rho \frac{\partial u}{\partial t}$$

Portanto

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau S}{A} + \rho \frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad (3.1.14)$$

As equações 3.1.12 e 3.1.14 são resolvidas simultaneamente utilizando-se o método das características.

### 3.2 Bomba Injetora:

As equações utilizadas no modelo descrevem a ação da bomba injetora constituída pelos elementos da Figura 3.2.1 a seguir.

As equações consideram:

- a compressibilidade do fluido através do seu módulo de elasticidade volumétrica  $K$ ;
- a continuidade do fluido em cada um dos volumes de controle de interesse (galeria de alimentação, câmaras de pressão e de descarga);
- a dinâmica do movimento oscilatório do sistema constituído pela válvula de descarga e sua mola no ambiente viscoso em que se encontram;
- as vazões nas singularidades representadas pelas áreas de passagem fixas e variáveis.

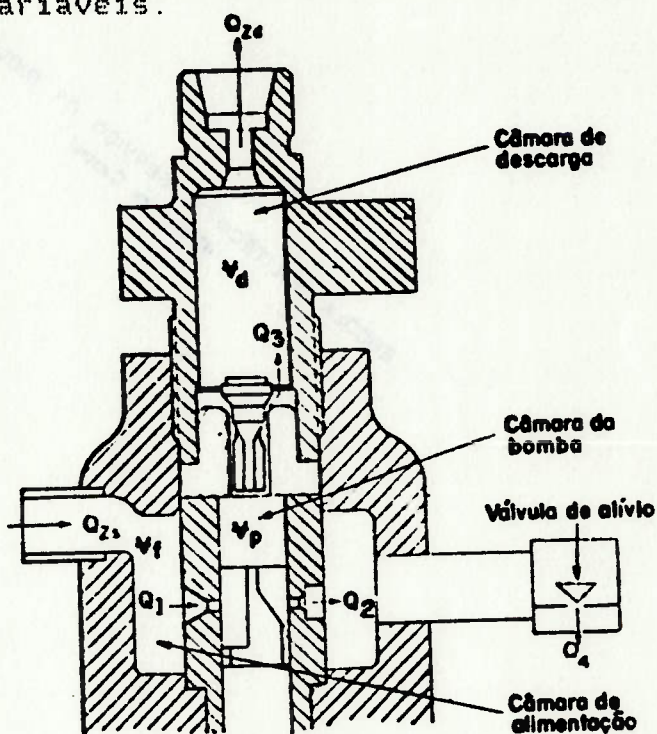


Figura 3.2.1 - Vista em corte da bomba injetora modelada [15]

Uma análise preliminar do comportamento dinâmico da válvula reguladora de pressão, no circuito de alimentação, mostrou um movimento de alta frequência e de pequena amplitude para o elemento regulador de pressão.

O alto valor da frequência observada era incompatível com um intervalo de tempo razoável para incrementar um conjunto de equações de diferenças finitas que caracterizam o modelo da linha



de injeção, promovendo instabilidades no tratamento numérico. Tornava-se necessário considerar um incremento de tempo tão pequeno que o processamento desse conjunto de equações se tornaria demasiadamente longo, distanciando de um dos objetivos iniciais da elaboração do modelo, que era o de utilizá-lo como estimador de parâmetros de projeto.

Por outro lado, a pequena amplitude do movimento do elemento regulador de pressão torna seu efeito sobre o escoamento passível de ser desprezado, principalmente ao se considerar o significativo volume da galeria de alimentação em relação ao volume total do circuito de alimentação.

A pressão de alimentação  $P_f$  do elemento dosador foi, portanto, obtida de uma solução em regime permanente, considerando apenas o volume deslocado pela bomba de transferência e a recirculação do combustível no circuito composto pelos filtros e reservatórios que constituem o sistema de alimentação, resultante da vazão na válvula reguladora de pressão.

O modelo da válvula reguladora de pressão foi desenvolvido a partir da análise de escoamento em regime permanente no sistema da Figura 3.2.2 abaixo,

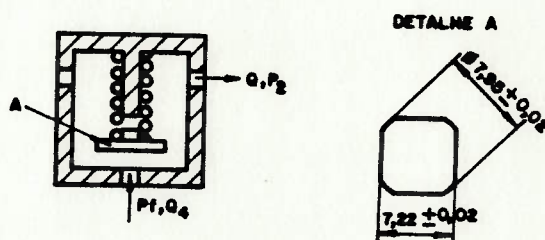


Figura 3.2.2 - Desenho esquemático de uma válvula reguladora de pressão

através da escolha de um volume de controle conveniente como o apresentado a seguir.

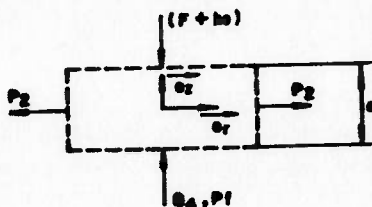


Figura 3.2.3 - Volume de controle escolhido

A utilização da equação da continuidade para fluido incompressível fornece:

$$M_1 = M_2 \quad \text{ou,} \quad Q_1 = Q_2$$

$$Q = \int v_r \, dS$$

$$dS = e \, deq \, d\theta/2$$

Mas

$$v_r = C_v \sqrt{2(P - P_2)/\rho}$$

$$Q = C_d \pi \, deq \, e \sqrt{2(P - P_2)/\rho} \quad (3.2.1)$$

onde  $deq$  é o diâmetro da seção onde se exerce a pressão  $P_f$  uniforme, adotado como sendo o diâmetro externo do ressalto existente na seção de entrada da válvula.

Aplicando a equação da quantidade de movimento de fluido incompressível e invíscido ao volume de controle da Figura 3.2.2 temos:

$$\vec{R} = \sum \rho_i \vec{n}_i$$

sendo  $R$  é a resultante das forças externas agindo sobre o volume de controle e  $\rho_i = (\beta M V + p S)_i$  onde:

- $\beta$  é o coeficiente de quantidade de movimento associado ao escoamento (igual a 1 ao se admitir regime turbulento);
- $M$  é o fluxo de massa através de uma seção de escoamento da superfície de controle;
- $V$  é a velocidade média nessa seção;
- $p$  é a pressão termodinâmica nesta seção, e
- $n$  é o vetor associado à direção normal a uma seção de escoamento da superfície de controle.

No caso  $R = - (F + ke)\vec{e}_z$ ,

$$\vec{h}_1 = -\vec{e}_z, \text{ e}$$

$$\vec{h}_2 = \vec{e}_r$$

$$\vartheta_1 = \rho Q_4^2/S + P_f S, \text{ pois } V = Q_4/S$$

$$\text{e, } \vartheta_2 = \rho Q v_r + P_2 \pi \text{ de q e}$$

onde:

- F é a pré-carga da mola da válvula;

- k é a rigidez da mola, e

e é a posição de equilíbrio do movimento oscilatório de pequena amplitude do elemento regulador da válvula.

Portanto, na direção  $\vec{e}_z$  temos:

$$(F + ke) = \left(\rho \frac{Q_4^2}{S} + P_f S\right) \quad (3.2.2)$$

Verifica-se, entretanto, que a área S da seção de entrada da válvula reguladora é suficientemente grande, em relação a área de saída definida pelo deslocamento e da elemento regulador de pressão, para se poder admitir  $\rho (Q_4/S)^2$  desprezível em relação a  $P_f$ . Com essa observação pode-se considerar também P igual a  $P_f$ .

A equação 3.2.2 pode, portanto, ser simplificada como

$$e = \frac{P_f S - F}{k} \quad (3.2.3)$$

Definindo  $Q_{zs}$  como a vazão fornecida pela bomba de transferência avaliada através de

$$Q_{zs} = C n \quad (3.2.4)$$

onde:

- C é uma constante, e

- n é a rotação de funcionamento do motor,

a equação da continuidade aplicada à galeria fornece:

$$Q_{zs} + Q_2 = Q_1 + Q_4$$

com

$$(Q_1 - Q_2) = \alpha Q_{zs}$$



resultando,

$$Q_{zu}(1-\alpha) = Q_4$$

Como a bomba de transferência é acionada pelo motor e desloca um volume muito maior que o dosado pelos elementos dosadores da bomba injetora ( $\alpha = 0$ ), resulta:

$$Q_{zs} = Q_4$$

Lembrando que  $Q_4 = Q$  obtém-se

$$Q_{zs} = Q_4 = Q \quad (3.2.5)$$

A substituição de 3.2.3 e 3.2.5 em 3.2.1 pode ser feita de forma conveniente como abaixo

$$Q_{zs} = C_d \pi \text{ deq} \left[ \frac{P_f S}{k} - F \right] \sqrt{\frac{2(P_f - P_2)}{\rho}}$$

No caso analisado  $P_2$  é aproximadamente zero, permitindo se escrever:

$$Q_{zs} = C_d \pi \frac{\text{deq}}{k} [P_f S - F] \sqrt{\frac{2P_f}{\rho}} \quad (3.2.6)$$

A equação 3.2.6 possui como incógnita somente a pressão de alimentação  $P_f$  admitida constante para cada rotação de funcionamento do motor, que rearranjada adequadamente é resolvida por iterações através de

$$C_d \pi \frac{\text{deq}}{k} \sqrt{\frac{2}{\rho}} [S P_f^{3/2} - F P_f^{1/2}] = C \times n \quad (3.2.7)$$

Ao se aplicar a equação da continuidade no volume de controle deformável correspondente à câmara de pressão da bomba, e utilizando o módulo de elasticidade volumétrica  $K_p$  do combustível, obtém-se:

$$dp = - \frac{KdV}{V}$$

ou,

$$\frac{dp}{dt} = - \frac{K}{V} \frac{dV}{dt}$$

onde  $V = (V_0 - A_p S_p + A_v S_v)$  e  $\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{dm}{dt}$

com  $\frac{dm}{dt} = \frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} (\mu)$

Mas  $\frac{\partial m}{\partial t} = \rho \frac{\partial V}{\partial t} = \rho (-A_p v_p + A_v v_v)$

e  $\frac{\partial}{\partial x} (\mu) = \rho (Q_2 + Q_3 - Q_1)$

Daí:  $\frac{dV}{dt} = -(A_p v_p - A_v v_v + Q_1 - Q_2 - Q_3)$

Portanto,

$$\frac{dP_p}{dt} = \frac{K_p}{(V_p - A_p S_p + A_v S_v)} (A_p v_p - A_v v_v + Q_1 - Q_2 - Q_3) \quad (3.2.8)$$

onde:

- $dm$  é o incremento de massa no volume de controle num incremento de tempo  $dt$ ;
- $dP_p$  é a variação da pressão na câmara da bomba num incremento de tempo  $dt$ ;
- $s$  é a grandeza com dimensão de comprimento na direção do escoamento;
- $V_p$  é o volume máximo da câmara da bomba;
- $A_p$  é a área da seção transversal do pistão dosador;
- $S_p$  é o deslocamento do pistão dosador promovido pela ação do camo;
- $v_p$  é a velocidade correspondente do pistão dosador;
- $A_v$  é a área projetada do colarinho da válvula de descarga no plano normal à direção do escoamento;

- $S_v$  é o deslocamento da válvula de descarga em relação à sua sede;
- $v_v$  é a velocidade correspondente da válvula de descarga
- $Q_1$  é a vazão volumétrica de combustível que entra na câmara da bomba pela janela de admissão;
- $Q_2$  é a vazão volumétrica de combustível que sai da câmara da bomba pela janela de descarga;
- $Q_3$  é a vazão volumétrica de combustível que escoar através da válvula de descarga.

Analogamente ao desenvolvimento feito na dedução da equação 3.2.8, a taxa de variação da pressão na câmara de descarga  $dP_d/dt$  é obtida.

$$\frac{dP_d}{dt} = \frac{K_d}{(V_d - A_v S_v)} (A_v v_v + Q_3 - Q_{zd}) \quad (3.2.9)$$

onde:

- $dP_d$  é a variação da pressão na câmara de descarga num incremento de tempo  $dt$ ;
- $V_d$  é o volume máximo da câmara de descarga;
- $K_d$  é o módulo de elasticidade volumétrica do combustível na câmara de descarga;
- $Q_{zd}$  é a vazão definida pela ação da bomba injetora na entrada da linha de injeção.

Esta equação é utilizada somente a partir do início do movimento da válvula de descarga. Antes disto a pressão na câmara de descarga é a pressão residual na linha de alta pressão resultante do ciclo de injeção anterior. Essa pressão residual é obtida no modelo de forma iterativa.

A equação dinâmica associada à válvula de descarga pode ser escrita como:

$$M_v \frac{dv_v}{dt} = A_v (P_p - P_d) - F_v - k_v S_v - C_v v_v \quad (3.2.10)$$



com,

$$v\dot{v} = \frac{dSv}{dt} \quad (3.2.11)$$

onde:

- $Mv$  é a medida da inércia associada ao conjunto massa-mola da válvula de descarga;
- $Fv$  é a força de pré-carga da mola da válvula;
- $kv$  é a rigidez da mola;
- $Cv$  é o coeficiente de amortecimento viscoso associado ao sistema.

A partir da avaliação das condições de movimento relativo existentes entre o corpo da válvula e seu cilindro-guia o amortecimento foi considerado de natureza exclusivamente viscosa. Em função do movimento oscilatório característico desta válvula tornou-se razoável admitir um amortecimento sub-crítico.

As equações utilizadas para levar em consideração o escoamento através dos orifícios de passagem, como mencionado anteriormente, são do tipo:

$$Q1 = Cd1 A1 \sqrt{2|Pf - Pp|/\rho} \operatorname{sgn}(Pf - Pp) \quad (3.2.12)$$

$$Q2 = Cd2 A2 \sqrt{2|Pp - Pf|/\rho} \operatorname{sgn}(Pp - Pf) \quad (3.2.13)$$

$$Q3 = Cd3 A3 \sqrt{2|Pp - Pd|/\rho} \operatorname{sgn}(Pp - Pd) \quad (3.2.14)$$

onde  $\operatorname{sgn}(Px-Py)$  é o sinal da diferença  $(px-Py)$  e a massa específica é constante.

Os coeficientes de descarga  $Cd$ , apesar de serem dependentes de um fator de forma, do número de Reynolds e do sentido do escoamento, foram, por conveniência, mantidos constantes.

As áreas  $A1$  e  $A2$  foram geométricamente determinadas em função da posição  $Sp$  do pistão dosador (ver Figura 3.4.3.13) e a área  $A3$  em função da posição  $Sv$  da válvula de descarga.

### 3.3. Bico Injetor:

As equações para a análise do escoamento a nível do conjunto injetor podem ser obtidas a partir de considerações semelhantes àquelas utilizadas no desenvolvimento do equacionamento da bomba injetora.

A combinação da equação da continuidade com a equação 3.1.10, aplicada aos volumes de controle de interesse mostrados na Figura 3.3.1, fornece:

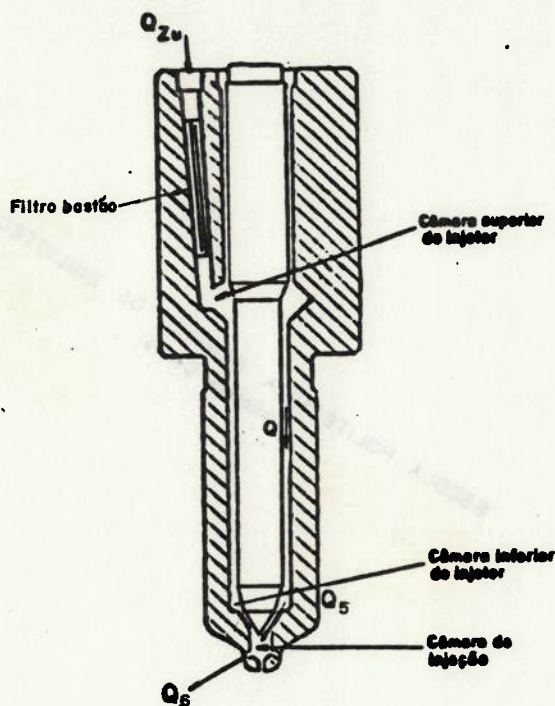


Figura 3.3.1 - Vista em corte do injetor modelado [15]

- para a câmara superior do injetor,

$$\frac{dP_s}{dt} = \frac{K_s}{(V_s + A_s S_n)} (Q_{zu} - A_s v_n - Q) \quad (3.3.1)$$

onde o índice  $s$  se refere à câmara superior e  $n$  à válvula de agulha do injetor, com:

$$v_n = \frac{dS_n}{dt} \quad (3.3.2)$$

onde:

- $dP_s$  a variação da pressão na câmara superior num incremento de tempo  $dt$ ;
- $K_s$  o módulo de elasticidade volumétrica do combustível na câmara superior;
- $S_n$  a medida do levantamento da agulha;
- $Q_{zu}$  a vazão proveniente da linha de injeção;
- $A_s$  a área projetada do semi-cone superior da agulha no plano normal a seu eixo;
- $V_s$  o volume mínimo da câmara superior;
- $v_n$  é a velocidade da agulha do injetor
- $Q$  é a vazão volumétrica estabelecida no conduto anular formado pelo cilindro interno do injetor e agulha, entre as câmaras superior e inferior .

- para a câmara inferior, referida pelo índice 1, vale

$$\frac{dP_1}{dt} = \frac{K_1}{(V_1 + A_1 S_n)} (Q - A_1 V_n - Q_5) \quad (3.3.3)$$

onde:

- $dP_1$  é a variação de pressão na câmara inferior do injetor num intervalo incremental de tempo  $dt$ ;
- $K_1$  o módulo de elasticidade volumétrica do combustível na câmara inferior;
- $A_1$  a área projetada do semi-cone inferior no plano normal ao eixo da agulha;
- $V_1$  é o volume mínimo da câmara inferior;
- $Q_5$  é a vazão volumétrica através da passagem entre as câmaras inferior e de injeção, criada pelo movimento da válvula de agulha;



- para a câmara de injeção, referida pelo índice  $i$ ,

$$\frac{dP_i}{dt} = \frac{K_i}{(V_i + A_i S_n)} (Q_5 - Q_6 - A_i v_n) \quad (3.3.4)$$

onde:

- $dP_i$  é a variação de pressão na câmara de injeção num intervalo incremental de tempo  $dt$ ;
- $K_i$  o módulo de elasticidade volumétrica do combustível na câmara de injeção;
- $A_i$  é a área correspondente à circunferência de assentamento da agulha;
- $V_i$  é o volume morto da câmara de injeção;
- $Q_6$  é a vazão volumétrica através dos orifícios de injeção.

Os orifícios de passagem fornecem:

$$Q_5 = C_d5 A_5 \sqrt{2|P_1 - P_i|/\rho} \operatorname{sgn}(P_1 - P_i) \quad (3.3.5)$$

$$Q_6 = C_d6 A_6 \sqrt{2|P_i - P_c|/\rho} \operatorname{sgn}(P_i - P_c) \quad (3.3.6)$$

onde  $P_c$  é a pressão na câmara de combustão.

A área  $A_5$  é determinada, obviamente, em função do levantamento  $S_n$  da válvula de agulha.

A área  $A_6$  corresponde à área total dos furos de injeção ou de um único furo equivalente.

Aqui também são válidas as hipóteses feitas no equacionamento da bomba injetora quanto aos valores dos coeficientes de descarga nos orifícios.

A pressão  $P_c$  na câmara de combustão, que exerce uma influência significativa no fenômeno de injeção, é admitida conhecida, podendo ser, alternativamente, introduzida na simulação utilizando-se um método de determinação de pressões indicadas.

Levando em conta a variação do volume na câmara de combustão, definida pela relação biela-manivela do motor, assumindo uma taxa de liberação de calor e o equacionamento termodinâmico do ciclo-motor é possível obter-se as pressões indicadas desejadas.

No presente trabalho foram utilizadas curvas de pressão indicada versus ângulo de árvore de manivelas de um motor que utiliza o sistema de injeção simulado.

As equações numeradas de 3.3.1 até 3.3.6 regem, em geral, o comportamento do bico injetor. Entretanto, os volumes das câmaras do injetor costumam ser suficientemente pequenos para se poder desprezar o efeito da compressibilidade, conforme observação feita no início desse capítulo.

A utilização desse recurso permite a obtenção de um segundo conjunto de equações que descrevem o funcionamento do bico injetor.

A partir da equação da energia cinética, aplicada entre o final da linha e a câmara superior do injetor pode-se estimar o valor da pressão  $P_s$ . Admitiu-se que o filtro bastão instalado nesse trecho equivalesse a dois cotovelos retos com um coeficiente de perda de descarga singular  $k_s$  igual a 1,3 cada.

Daí:

$$P_s = P_{f1} - \rho K_s Q_{zu} |Q_{zu}| / A^2 \quad (3.3.7)$$

onde  $P_{f1}$  é a pressão no final da linha de injeção e  $A$  é a área da seção transversal equivalente da passagem na restrição imposta pelo filtro bastão, que coincide com a da seção interna da linha de injeção.

Entre as câmaras superior e inferior do injetor, na folga entre a agulha e o cilindro interno, o escoamento foi considerado turbulento liso. Com a avaliação da perda de carga distribuída neste trecho foi possível determinar a pressão na câmara inferior.

$$P_l = P_s - \frac{8}{f} \rho f_L \frac{Q^2}{D_H^5} \quad (3.3.8)$$

$$\text{onde } D_H = 4 R_H, \quad R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{\frac{\pi}{4} (D_{cil}^2 - d_{int}^2)}{\frac{\pi}{4} (D_{cil} + d_{int})} = \frac{(D_{cil} - d_{int})}{4} = \frac{\text{folga}}{2},$$

$f$  é o coeficiente de perda de carga distribuída obtido da aplicação da equação de Blasius e,  $Q = Q_{zu} - A_{svn}$

A pressão na câmara de injeção é obtida pela aplicação simultânea da equação da continuidade e da expressão anterior associadas às equações nas seções de passagem variável da agulha (3.3.5) e do orifício equivalente do injetor (3.3.6).

Como parâmetro de condição de contorno entre o bico injetor e a linha de injeção foi avaliada a vazão de combustível no final da linha ( $Q_{zu}$ ). Trata-se da soma da vazão injetada com as taxas de variação de volume nas câmaras superior, inferior e de injeção, promovidas pelo movimento da agulha

$$Q_{zu} = Q_6 + (A_i + A_l + A_s)vn = Q_5 + (A_l - A_s)vn \quad (3.3.9)$$

fornecendo

$$Q_5 = Q_6 + A_i vn$$

como equação de continuidade na câmara de injeção

Resulta então:

$$C_{d5} A_5 \sqrt{\frac{2(P_l - P_i)}{\rho}} = C_{d6} A_6 \sqrt{\frac{2(P_i - P_c)}{\rho}} + A_i vn$$

onde  $A_5 = \pi d_{inf} S_n \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,

$d_{inf}$  é o diâmetro da circunferência externa do assento da agulha,  $\alpha$  é o ângulo de cone utilizado na usinagem da sede da válvula, e  $P_c$  a pressão fornecida pelo arquivo de dados de pressão na câmara de combustão.

A equação utilizada para descrever o movimento da agulha foi:

$$M_n \frac{dvn}{dt} = A_s P_s + A_i P_i + A_l P_l - F_n - k_n S_n - C_n vn - F_s \quad (3.3.10)$$

onde:

- $M_n$  é a inércia associada ao conjunto massa-mola da válvula de agulha;
- $F_n$  é a força de pré-carga da mola da válvula de agulha;
- $k_n$  é a rigidez da mola;



-  $C_n$  é o coeficiente de amortecimento viscoso, calculado a partir da viscosidade do combustível e da folga entre a haste da agulha e corpo do injetor;

-  $F_s$  é a força resistente devida à ação da tensão de cisalhamento viscosa na superfície da agulha no trecho entre as câmaras superior e inferior do injetor.

O movimento da agulha é limitado superior e inferiormente pela geometria característica do bico injetor.

Em todo o modelo os valores das propriedades módulo de elasticidade volumétrica e viscosidade cinemática do fluido, em função da pressão, foram obtidos das curvas abaixo (Figuras 3.3.2 e 3.3.3) obtidas na literatura.

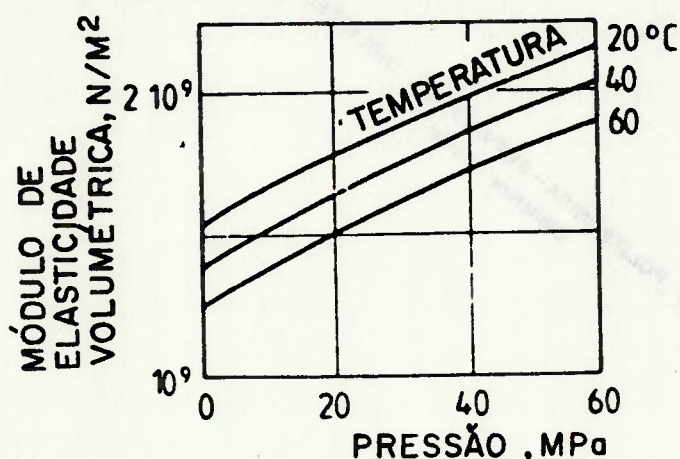


Figura 3.3.2 [16]

-Curva de módulo de elasticidade volumétrica do fluido x pressão

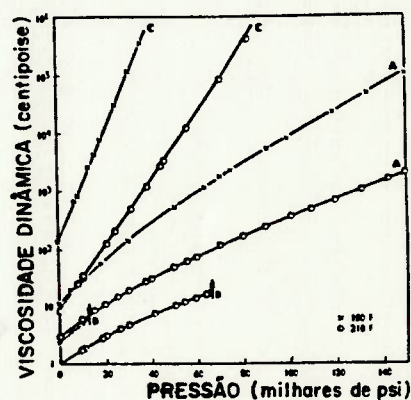


Figura 3.3.3 [20]

-Curva de viscosidade cinemática x pressão

Na Figura 3.3.3 a curva B corresponde a uma mistura de heptametil nonano e normal hexadecano de número cetano 50; foram utilizados os resultados obtidos para 100 °F.

### 3.4 Características Geométricas e Parâmetros Físicos do Sistema

#### Simulado:

Nesse item são apresentados os resultados metrológicos obtidos num sistema de injeção representativo do tipo escolhido para modelagem.

Essa metrologia forneceu medidas de grandezas geométricas importantes e valores dos parâmetros físicos associados aos componentes dos sistemas dinâmicos, utilizados como dados de simulação.

### 3.4.1 Válvula reguladora de pressão:

Um desenho esquemático da válvula reguladora de pressão é o mostrado na Figura 3.2.2. Nela estão evidenciadas as dimensões geométricas importantes para a elaboração do modelo.

Os resultados do ensaio efetuado na mola da válvula reguladora de pressão são apresentados na Figura 3.4.1.1 a seguir

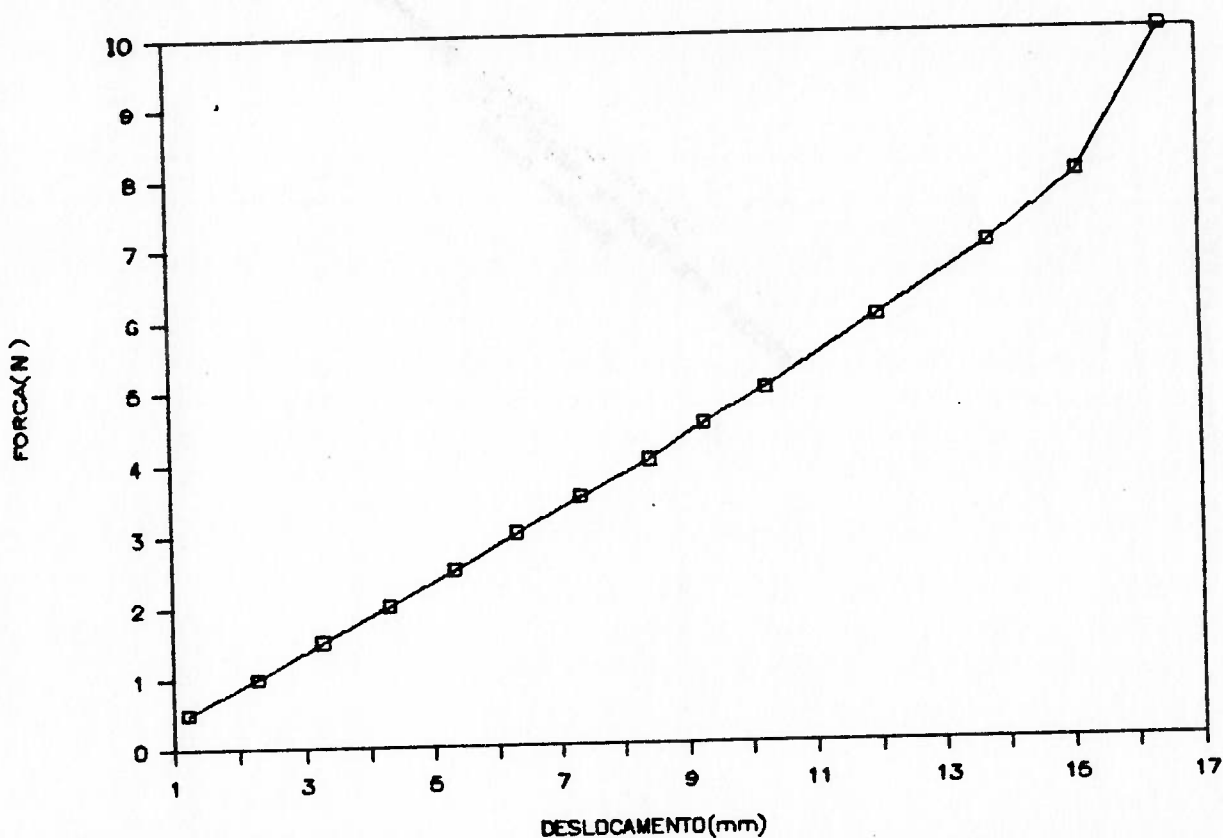


Figura 3.4.1.1 Ensaio da mola da válvula de reguladora de pressão

que sugerem um valor de rigidez para essa mola de  $0,466\text{N/mm}$ .

A deformação inicial da mola da válvula de descarga foi avaliada geometricamente em  $12,3\text{ mm}$  resultando uma força de pré-carga de  $5,7\text{N}$ .

### 3.4.2 Válvula de descarga:

O desenho da válvula de descarga com as dimensões de interesse corresponde à Figura 3.4.2.1.

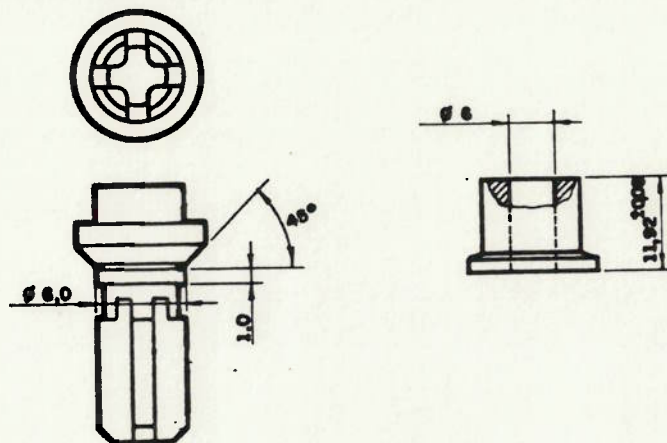


Figura 3.4.2.1 Desenho esquemático da válvula de descarga da bomba injetora

Os resultados dos ensaios realizados para determinação da rigidez da mola são apresentados graficamente na Figura 3.4.2.2

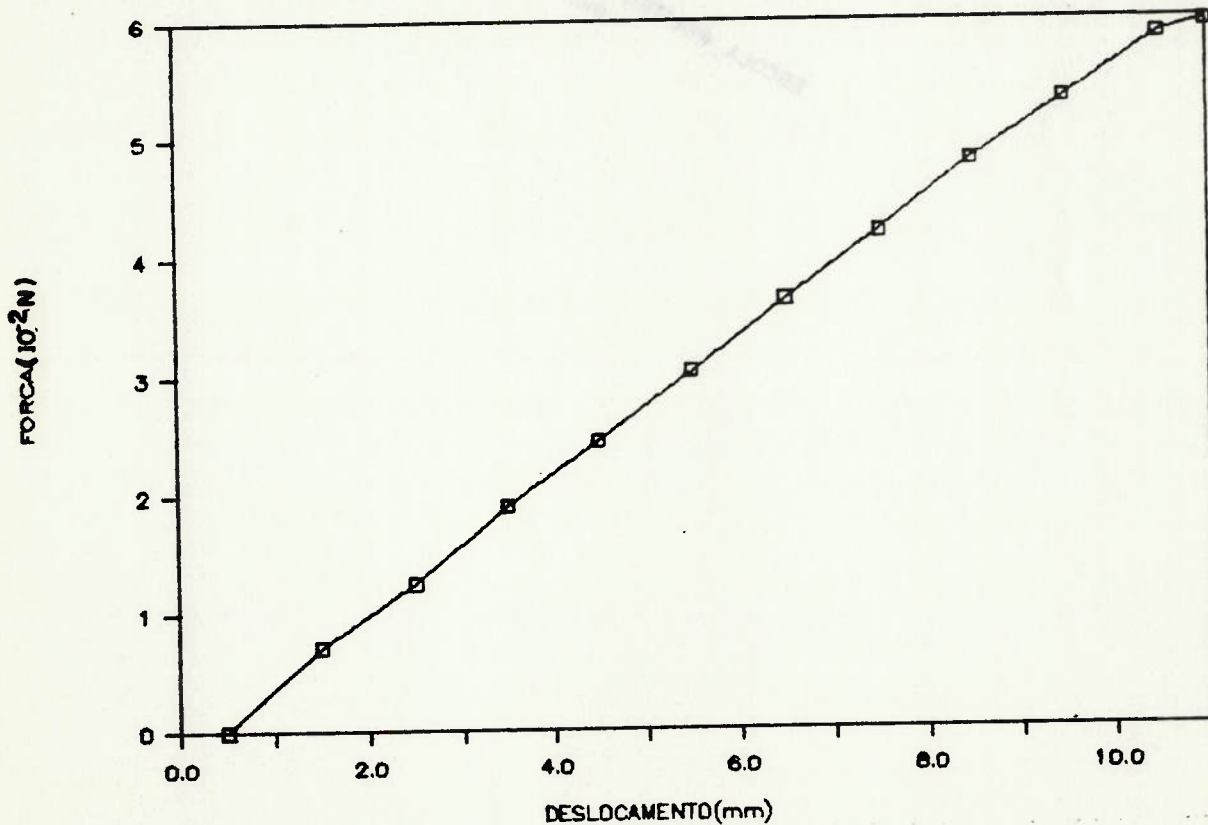


Figura 3.4.2.2 Resultados dos Ensaios realizados na mola da válvula de descarga.



que fornece subsídios para a utilização de um valor constante de 15,3N/mm para esse parâmetro físico.

A medição das massas do flutuador (mvvdes) e da mola da válvula de descarga (mmovvd) forneceram 2,95g e 2,83g, respectivamente.

A inércia associada à válvula de descarga, utilizada no estudo da dinâmica de seu movimento, foi calculada através da relação

$$m = mvvdes + \frac{mmovvd}{3} \quad (3.4.2.1)$$

A força de pré-carga, avaliada através da deformação sofrida pela mola na montagem do conjunto, resultou em 39,23N.

### 3.4.3 Elemento dosador da bomba injetora:

O desenho do elemento dosador da bomba injetora contendo as dimensões geométricas importantes corresponde às Figuras 3.4.3.1 e 3.4.3.2 do pistão dosador e do cilindro respectivamente.

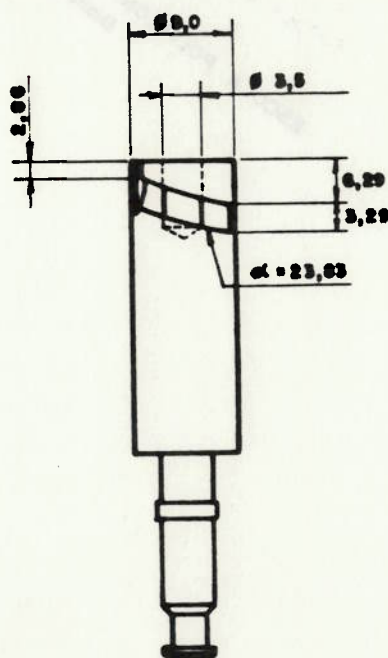


Figura 3.4.3.1 Pistão do elemento dosador da bomba injetora

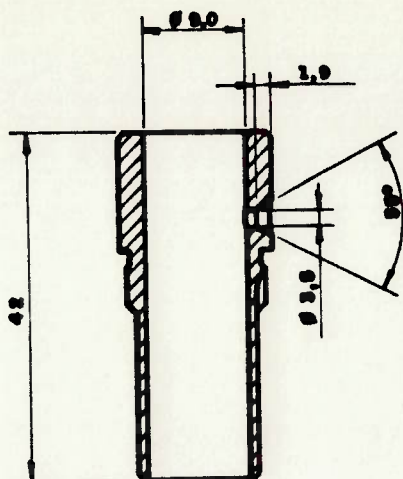


Figura 3.4.3.2 Cilindro do elemento dosador da bomba injetora

No caso do sistema de injeção escolhido para simulação e comparação de resultados, a janela de admissão de combustível na câmara de pressão da bomba injetora coincide com a janela de descarga. Portanto, as áreas  $A_1$  e  $A_2$  das equações 3.2.12 e 3.2.13 são iguais.

O valor instantâneo desta área comum de comunicação entre a galeria de alimentação e a câmara de pressão depende :

- das posições angular e linear do pistão dosador;
- do pré-curso de injeção;
- do ângulo de hélice e das demais dimensões da ranhura helicoidal usinada no pistão dosador e, obviamente
- do diâmetro do orifício de passagem.

A posição angular do pistão dosador está relacionada com a posição linear da cremalheira da bomba injetora (poscre) e define a grandeza  $l$  relacionada com o curso efetivo de bombeamento  $s$  através de:

$$l = s + P.C.$$

Esta última grandeza geométrica ( $l$ ) foi determinada a partir das medidas feitas na engrenagem de acionamento do pistão dosador e dos

curso máximo e mínimo de cremalheira características da regulação da bomba injetora.

O pré-curso (P.C.) de injeção, que determina geometricamente o início do processo de bombeamento, é definido como o deslocamento sofrido pela cabeça do dosador desde a posição em que o perfil de seu camo de acionamento deixa de coincidir com a circunferência de base, até atingir a condição de fechamento total da janela de admissão. Foi avaliado, através de medida direta na bomba injetora e do conhecimento do curso total do elemento dosador, como sendo de 2mm.

Usando o recurso de planificar a superfície lateral cilíndrica do pistão dosador, em uma posição genérica, pode-se visualizar essas grandezas através das Figuras 3.4.3.3 e 3.4.3.4 a seguir.

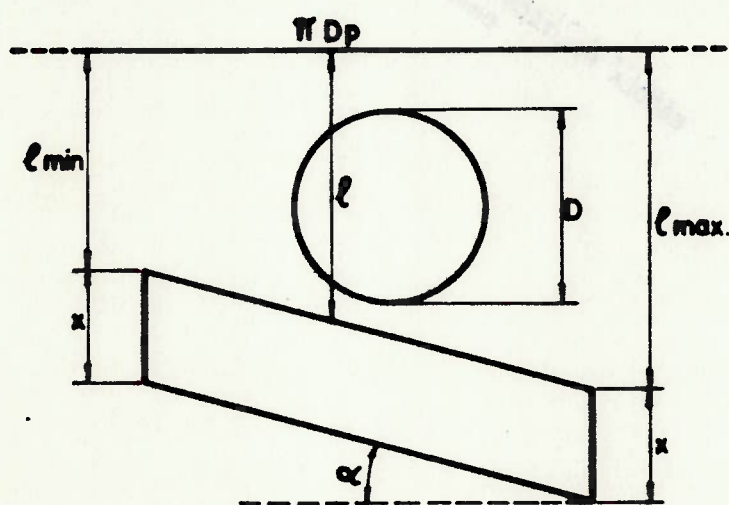


Figura 3.4.3.3

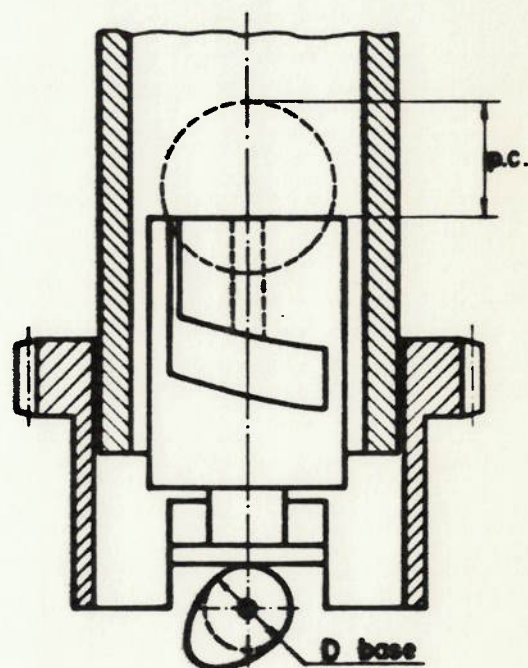


Figura 3.4.3.4

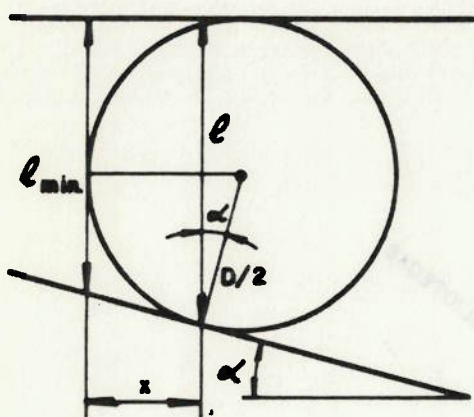
A análise dessa geometria permite escrever:

$$l = l_{\min} + \frac{(l_{\max} - l_{\min})}{(\text{poscremax} - \text{poscremin})} (\text{poscre} - \text{poscremin}) \quad (3.4.3.1)$$



Da metrologia do pistão dosador em questão vem  $l_{\max} = 6,26\text{mm}$  e  $l_{\min} = 2,86\text{mm}$ .

Entretanto, para ter o fechamento da janela de admissão, a grandeza  $l$  deve estar na faixa compreendida entre  $3,32\text{mm}$  e  $5,18\text{mm}$ , correspondente a uma variação angular de aproximadamente  $54$  graus do pistão dosador, conforme mostrado na análises que acompanham as Figuras 3.4.3.5 e 3.4.3.6 .



$$x = \frac{D}{2} (1 - \text{sen}\alpha) \quad \frac{(1 - l_{\min})}{x} = \text{tg}\alpha$$

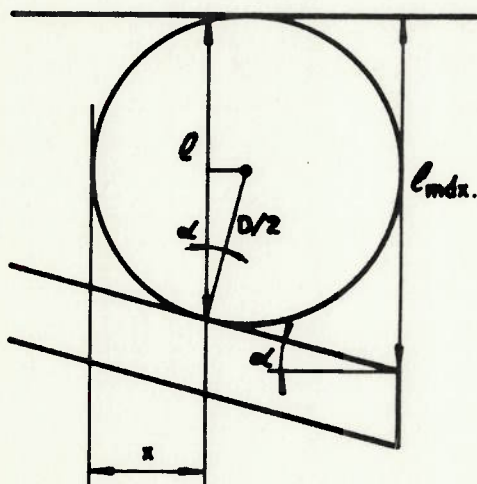
$$l = l_{\min} + x \text{tg}\alpha$$

$$l = l_{\min} + \frac{D}{2} (1 - \text{sen}\alpha) \text{tg}\alpha$$

$$l = 2,86 + \frac{3,5}{2} [1 - \text{sen}(23,83)] \text{tg}(23,83)$$

$$l = 3,32 \text{ mm}$$

Figura 3.4.3.5 Avaliação do valor mínimo de  $l$



$$\frac{l_{\max} - l}{\frac{D}{2} (1 + \text{sen}\alpha)} = \text{tg}\alpha$$

$$l = l_{\max} - \frac{D}{2} (1 + \text{sen}\alpha) \text{tg}\alpha$$

$$l = 6,26 - \frac{3,5}{2} [1 + \text{sen}(23,83)] \text{tg}(23,83)$$

$$l = 5,18 \text{ mm}$$

Figura 3.4.3.6 Avaliação do valor máximo de  $l$

Os valores reais, por sua vez, correspondem a uma faixa ainda menor. Sabendo que o diâmetro primitivo da engrenagem do par pinhão-cremalheira que define a posição angular do pistão dosador é de  $22\text{mm}$  e que o âmbito de regulação dessa cremalheira é de  $9,5\text{mm}$ ,

com um valor de corte de combustível em 2,7mm, define-se uma variação angular efetiva no dosador de apenas 35 graus.

Tomando esses 35 graus centralizados na faixa de 54 graus anteriormente determinada resulta

$$l = 3,147 + 0,1809(\text{poscre})$$

que mostra  $l$  sempre maior que P.C. .

Na análise geométrica da área de passagem  $A_1$  é necessário utilizar-se algumas variáveis auxiliares.

Define-se  $h$  como sendo a medida da diferença entre a posição da cabeça do pistão dosador e o centro do orifício de admissão em situações em que não se estabelece escoamento através da ranhura helicoidal.

As grandezas auxiliares definidas acima são mostradas nas Figuras 3.4.3.7 e 3.4.3.8.

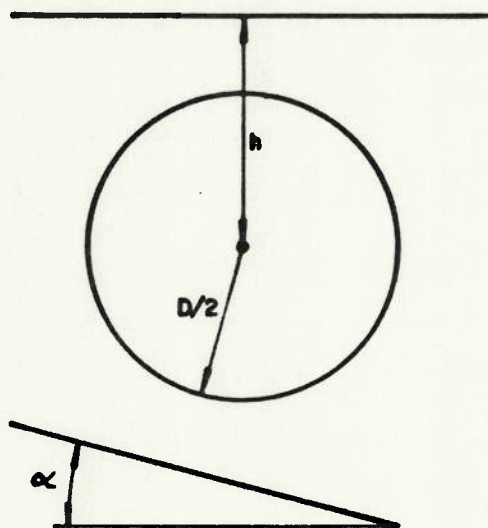


Figura 3.4.3.7

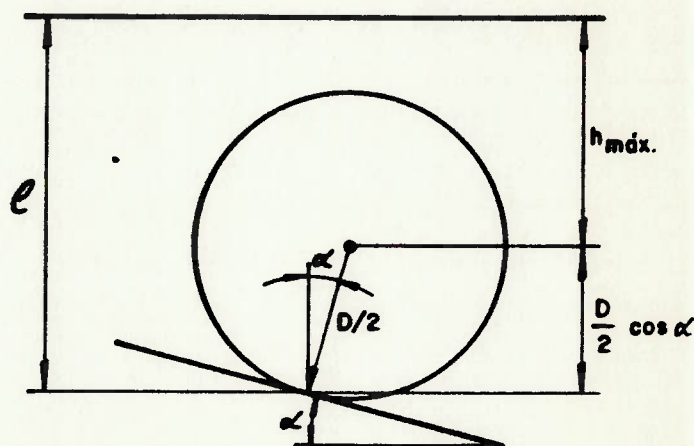


Figura 3.4.3.8

Observando que o valor máximo da grandeza  $h$  ( $h_{\text{max}}$ ) é maior que o raio da janela ou seja,

e conhecendo o valor do curso máximo do pistão (8mm), constata-se que existem quatro geometrias diferentes para serem analisadas na avaliação da área  $A_1$  da passagem de combustível, a saber:

- para  $(\frac{D}{2} - P.C.) \leq h < D/2$ ;
- para  $\frac{D}{2} \leq h < h_{max}$ ;
- para  $h_{max} \leq h < (h_{max} + x)$ ;
- para  $h \geq (h_{max} + x)$

No caso (a) genericamente tem-se:

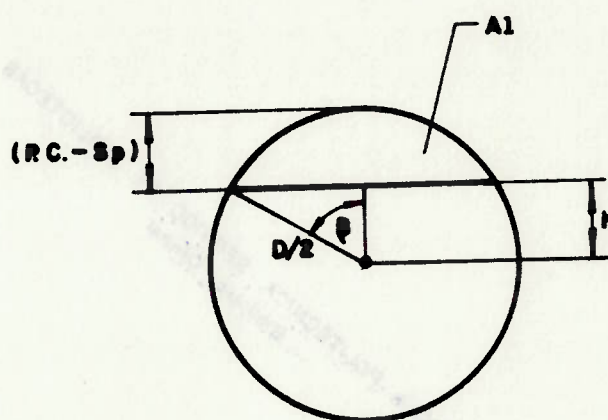


Figura 3.4.3.9

$$\beta = \arccos \left( \frac{2h}{D} \right) \text{ e}$$

$$h = \frac{D}{2} - (RC - S_p) ,$$

lembrando que  $S_p$  é o levantamento sofrido pelo pistão dosador até o instante considerado.

Dai

$$A_1 = \beta \left( \frac{D}{2} \right)^2 - h \frac{D}{2} \text{ sen} \beta$$

No caso (b) tem-se



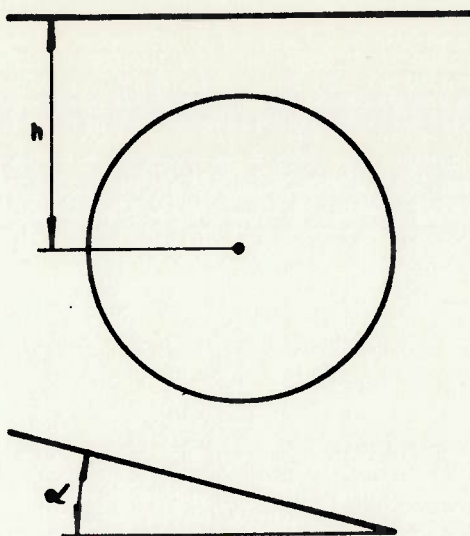


Figura 3.4.3.10

Portanto a área  $A_1$  é nula nesse caso.

O caso (c) pode ser visualizado numa condição intermediária através da Figura 3.4.3.11 a seguir

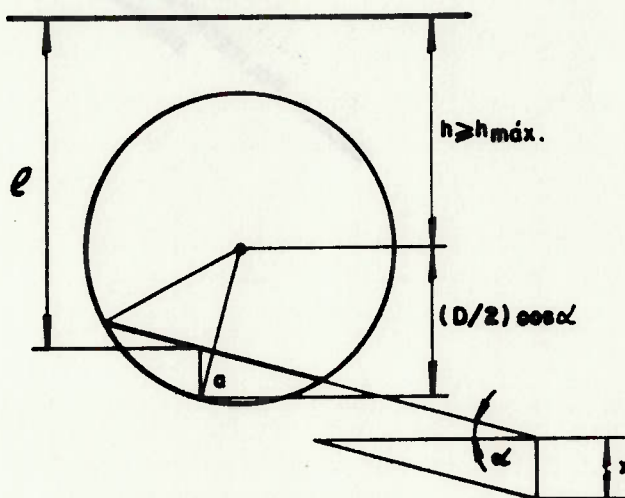


Figura 3.4.3.11

onde  $a = \frac{D}{2} \cos^2 \alpha - (1 - h) \cos \alpha$  e  $\Delta = \arccos \left( \frac{D - 2a}{D} \right)$

Dai:

$$A_1 = \Delta \left( \frac{D}{2} \right)^2 - \left( \frac{D}{2} \operatorname{sen} \Delta \right) \left( \frac{D}{2} - a \right)$$

ou,

$$A_1 = \frac{D}{4} [\Delta D - (D - 2a) \operatorname{sen} \Delta]$$

No caso (d), analisado a partir da Figura 3.4.3.12,

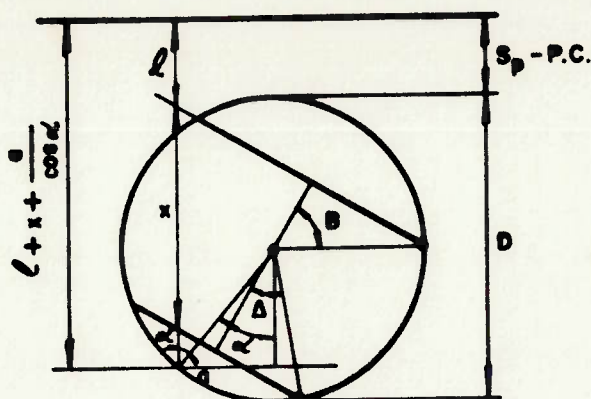


Figura 3.4.3.12

a área  $A_i$  pode ser calculada conhecendo-se o valor de  $x$  (3,29mm),  $D$ ,  $l$ , P.C. e através do conjunto de equações abaixo.

$$l + x + \frac{a}{\cos \alpha} = (S_p - P.C.) + \frac{D}{2} (1 + \cos \alpha)$$

$$a = [(S_p - P.C.) - (l + x) \cos \alpha + \frac{D}{2} (1 + \cos \alpha)] \cos \alpha$$

$$\Delta = \arccos \left( \frac{D - 2a}{D} \right)$$

$$b = D - a - x \cos \alpha$$

$$\beta = \arccos \left( \frac{D - 2b}{D} \right)$$

$$A_i = \frac{\pi D^2}{4} - \left[ \beta \left( \frac{D}{2} \right)^2 - \frac{D}{2} \operatorname{sen} \beta \left( \frac{D}{2} - b \right) \right] - \left[ \Delta \left( \frac{D}{2} \right)^2 - \frac{D}{2} \operatorname{sen} \Delta \left( \frac{D}{2} - a \right) \right]$$

ou,

$$A_i = \frac{\pi D^2}{4} - (\beta + \Delta) \left( \frac{D}{2} \right)^2 + \frac{D}{2} \left[ \left( \frac{D}{2} - b \right) \operatorname{sen} \beta + \left( \frac{D}{2} - a \right) \operatorname{sen} \Delta \right]$$

A variação da área de passagem  $A_i$  com o movimento angular do camo, para um dado valor de cremalheira da bomba injetora, foi mostrado anteriormente na Figura 3.4.3.13

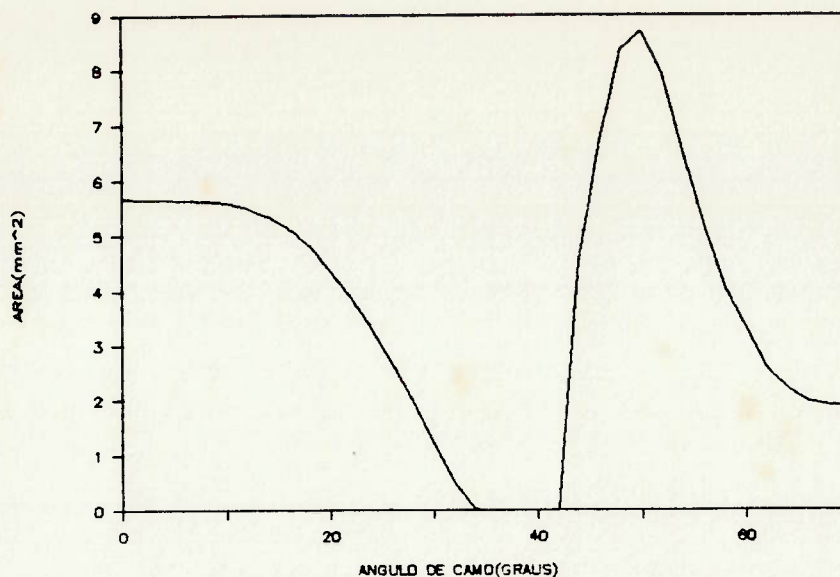


Figura 3.4.3.13 Variação da área de passagem  $A_i$  em função do ângulo de camo (cremalheira 7,0mm)

#### 3.4.4 Perfil do Camo de acionamento da Bomba Injetora:

A curva do camo de acionamento da bomba injetora foi levantada a partir de medidas feitas através do levantamento do elemento dosador com o movimento do eixo de camos feito de dois em dois graus, medidos através de um divisor de máquina-ferramenta. Essa curva corresponde à Figura 3.4.4.1

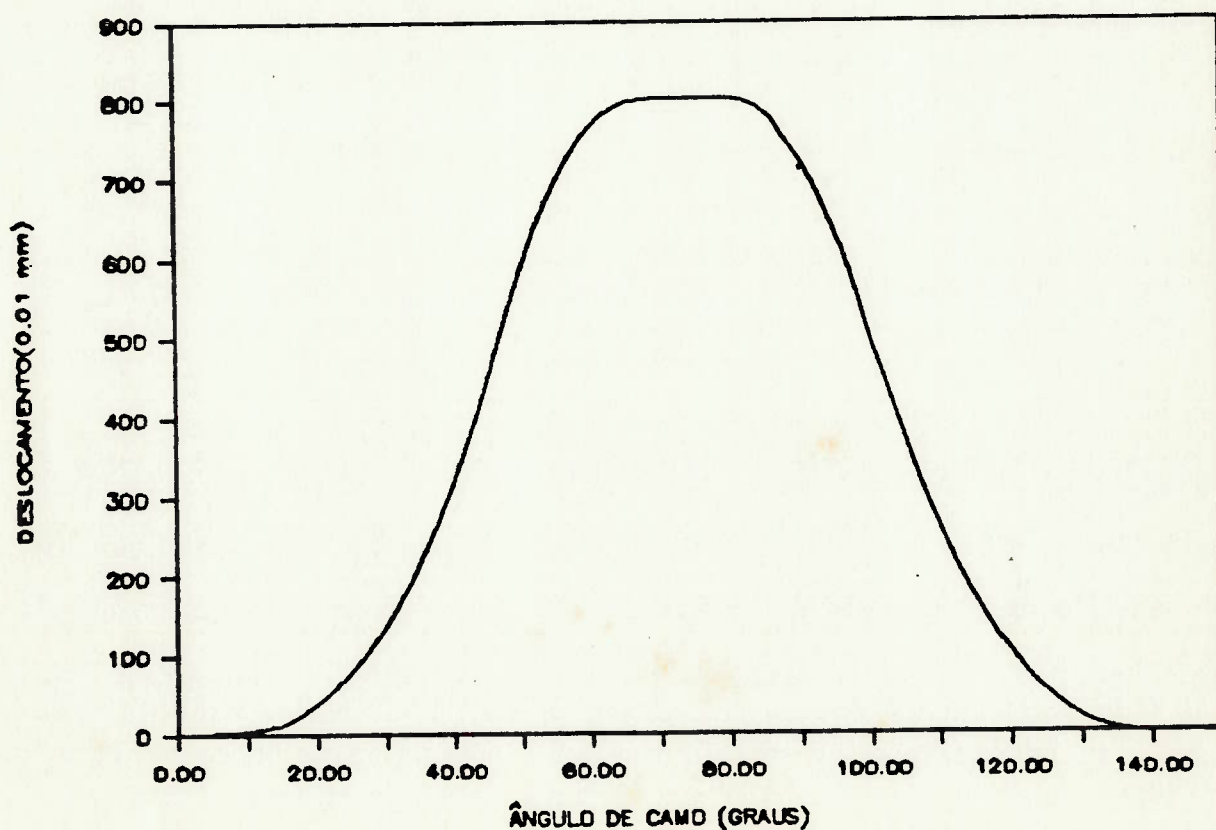


Figura 3.4.4.1 Levantamento do seguidor da bomba injetora



As velocidades médias de subida do seguidor em cada trecho da curva anterior estão mostradas na Figura 3.4.4.2.

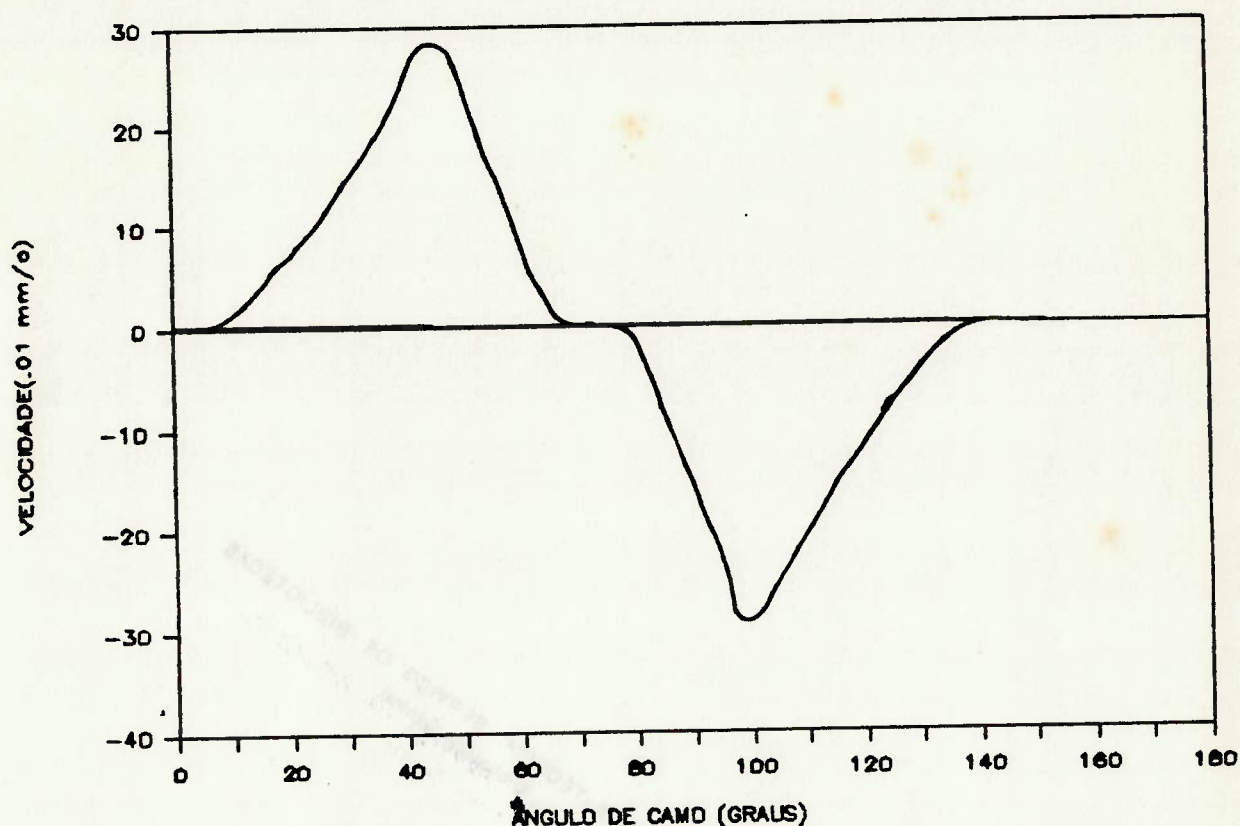


Figura 3.4.4.2 Velocidade do acionamento do pistão dosador

### 3.4.5 Linha de injeção:

Na linha de injeção foram determinados os diâmetros interno (2mm) e externo da tubulação (8mm), seu comprimento total (750mm), raios de curvatura e rugosidade RA de sua parede interna. Os raios de curvatura demonstraram ser suficientemente grandes para se poder desprezar seus efeitos de singularidade no modelo desenvolvido. A rugosidade equivalente pode ser avaliada através da integral característica do método RA como sendo de  $1\mu\text{m}$  que forneceu uma rugosidade relativa característica de escoamento em tubo liso, considerando a faixa de valores dos demais adimensionais associados.

No modelo, entretanto, foi utilizado 1000mm como comprimento da linha de injeção uma vez que na extremidade de saída da bomba injetora e num pequeno trecho na entrada do conjunto injetor observam-se dimensões internas semelhantes nestes condutos.

### 3.4.6 Conjunto Injetor:

No conjunto injetor foram realizadas medições na mola que comanda a abertura da válvula de agulha, no filtro tipo bastão, na válvula de agulha e no corpo do injetor.

O ensaio com a mola forneceu uma rigidez de 186N/mm. Sua massa medida foi de 11.4g.

As dimensões de interesse relativas à geometria da válvula de agulha (ângulos e comprimentos) podem ser vistas na Figura 3.4.6.1 abaixo.

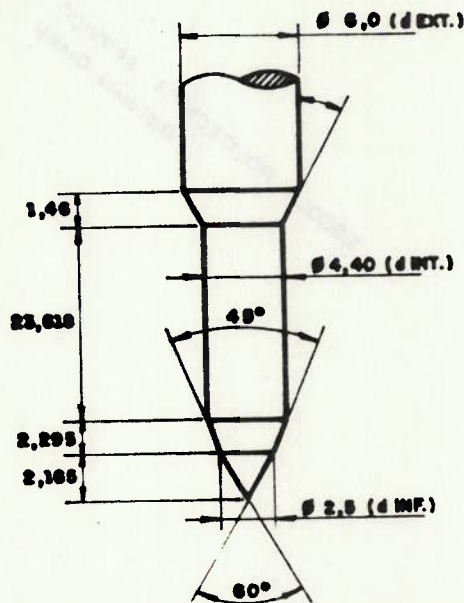


Figura 3.4.6.1 Desenho da válvula de agulha

A massa medida da válvula de agulha foi avaliada em 11,2g fornecendo uma inércia equivalente ao sistema massa mola de 15,0g.

A folga medida entre o diâmetro interno do corpo do injetor e o cilindro correspondente da agulha foi avaliado em 0,04mm.

O diâmetro dos furos de injeção, em número de quatro, foi adotado de 0,31mm de acordo com informações do fabricante.

#### 4 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A SOLUÇÃO NUMÉRICA DO MODELO:

No modelo desenvolvido para o sistema de injeção existem várias equações diferenciais que devem ser integradas numericamente.

Essas equações diferenciais podem ser agrupadas em três grandes categorias:

- equações diferenciais parciais relativas à linha de injeção;
- equações diferenciais ordinárias relativas à bomba injetora, e
- equações diferenciais ordinárias relativas ao conjunto injetor.

As primeiras só podem ser integradas conhecendo-se as condições de contorno nas extremidades da linha de injeção. Essas condições são obtidas da solução simultânea dos conjuntos de equações que descrevem o funcionamento da bomba injetora e do conjunto injetor.

As equações diferenciais ordinárias, que regem o escoamento e o comportamento dinâmico destes componentes são integradas através do método de Runge-Kutta [21], utilizando o mesmo passo de integração das equações diferenciais parciais. Têm, por sua vez, as curvas do camo e de pressão na câmara de combustão como condições de contorno.

Para transformar as equações diferenciais parciais quasi-lineares de natureza hiperbólica, como as que descrevem o fenômeno hidrodinâmico de propagação das ondas de pressão na linha de injeção, em equações diferenciais ordinárias existe o recurso de se utilizar o método das características [18,19].

Para o caso estudado, o método das características corresponde ao procedimento descrito abaixo.

Substituindo nas equações 3.1.5 e 3.1.14 a variável independente  $u$  pela vazão volumétrica  $Q$  e lembrando que a seção transversal da tubulação é considerada indeformável e de área  $A$  obtém-se:



$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau S}{A} + \frac{\rho}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (4.1)$$

e,

$$\frac{\rho c^2}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (4.2)$$

com  $\tau S dx = A \gamma f \frac{dx}{D} \frac{u|u|}{2g} \quad \frac{\tau S}{A} = \frac{\rho f u|u|}{2D} = \frac{\rho f Q|Q|}{2DA^2}$

Identificando 4.1 e 4.2 respectivamente por  $L_1$  e  $L_2$  e combinando-as linearmente usando um multiplicador desconhecido  $\lambda$  define-se  $L$

$$L = L_1 + \lambda L_2 = \left( \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\tau S}{A} + \frac{\rho}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \lambda \left( \frac{\rho c^2}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial t} \right)$$

ou,

$$L = \lambda \left[ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} \left( \frac{1}{\lambda} \right) \right] + \frac{\rho}{A} \left[ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} (\lambda c^2) \right] + \rho f \frac{Q|Q|}{2DA^2} \quad (4.3)$$

Lembrando que as derivadas totais  $\frac{dQ}{dt}$  e  $\frac{dp}{dt}$  podem ser desenvolvidas em

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial t}$$

e

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial p}{\partial t}$$

para transformar as equações anteriores em equações diferenciais ordinárias basta se fazer uma escolha apropriada de valor de  $\lambda$  a partir de

$$\frac{1}{\lambda} = \lambda c^2 = \frac{dx}{dt},$$

obtendo-se

$$\lambda = \pm \frac{1}{c} \quad (4.4)$$

e

$$\frac{dx}{dt} = \pm c \quad (4.5)$$

As equações 4.4 e 4.5 aplicadas em 4.3 formam um sistema de equações diferenciais ordinárias que pode ser subdividido da seguinte forma:

- para  $\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\lambda} = c$ ,  $L = \frac{1}{c} \frac{dp}{dt} + \frac{\rho}{A} \frac{dQ}{dt} + \rho \frac{f Q|Q|}{2DA^2} = 0$  e,

- para  $\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\lambda} = -c$ ,  $L = -\frac{1}{c} \frac{dp}{dt} + \frac{\rho}{A} \frac{dQ}{dt} + \rho \frac{f Q|Q|}{2DA^2} = 0$

Cada um desses grupos de equações podem ser integrados numericamente adotando-se a técnica de diferenças finitas numa aproximação de primeira ordem, fornecendo:

$$Q(i,j) - Q(i-1,j-1) + \frac{A}{(\rho C)}_{(i-1,j-1)} [P(i,j) - P(i-1,j-1)] + \frac{[fQ|Q]}{2DA}_{(i-1,j-1)} \Delta t = 0$$

para  $x_i - x_{(i-1)} = c(i-1) (t_j - t_{(j-1)}) = c\Delta t$  (4.6)

$$e \quad Q(i,j) - Q(i+1,j-1) - \frac{A}{(\rho C)}_{(i+1,j-1)} [P(i,j) - P(i+1,j-1)] + \frac{[fQ|Q]}{2DA}_{(i+1,j-1)} \Delta t = 0$$

para  $x_i - x_{(i+1)} = c(i+1) (t_j - t_{(j-1)}) = -c\Delta t$  (4.7)

onde os índices  $i$  e  $j$  se referem respectivamente às variáveis independentes  $x$  e  $t$  do problema.

A vinculação proposta para essas variáveis independentes, válidas nos agrupamentos acima, definem as chamadas curvas características do método numérico adotado, designadas por  $C^+$  e  $C^-$ . Essas curvas permitem a visualização da solução numérica resultante da aplicação simultânea das equações 4.6 e 4.7 como mostrada na Figura 4.1 abaixo.

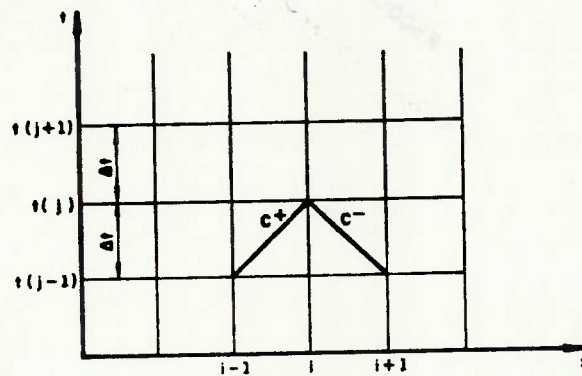


Figura 4.1 Visualização da solução com o uso do método das características

Qualquer análise de escoamento realizada em tubulação deve começar numa condição em que os valores das variáveis dependentes são conhecidas em toda sua extensão. Os valores subsequentes dessas variáveis são calculados, preferencialmente, em seções pré-estabelecidas e igualmente espaçadas.

Entretanto, as equações 4.6 e 4.7 nem sempre têm solução em etapas intermediárias de cálculo, quando se mantém esse espaçamento geométrico constante. Em decorrência de variações nas propriedades do fluido em escoamento, a velocidade de propagação das ondas de pressão se altera e conseqüentemente novos valores de coeficientes angulares para as curvas características devem ser utilizados.

No problema em questão parecia conveniente considerar a variação do módulo de elasticidade volumétrica e portanto da velocidade  $c$  de propagação das ondas de pressão, com a pressão.

Era interessante, também, utilizar incremento de tempo  $\Delta t$ , com valor constante em cada condição de funcionamento do sistema, comum a todas as integrações numéricas realizadas nas diversas partes do modelo.

Para avaliar os valores das grandezas  $P$  e  $Q$  em seções também pré-estabelecidas era necessário, portanto, adotar um recurso que permitisse contornar esse problema para dar continuidade ao procedimento de cálculo.

O método das características prevê a utilização de uma interpolação linear como ferramenta para contornar esse problema, quando se deseja trabalhar com intervalos de tempo e de espaçamento geométrico pré-especificados [18,19].

Com o uso dessa ferramenta a visualização geométrica da solução pode ser feita com o uso da Figura 4.2 abaixo.

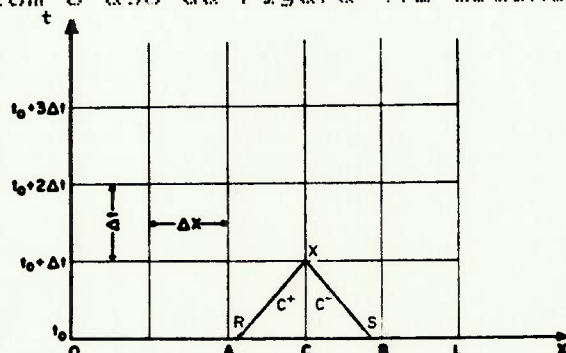


Figura 4.2 Visualização da solução usando interpolação linear.



com

$$Q_R = \frac{Q_C - \zeta_R(Q_C - Q_A)}{1 + \frac{\theta}{A}(Q_C - Q_B)} \quad (4.8)$$

$$Q_S = \frac{Q_C - \zeta_S(Q_C - Q_B)}{1 - \frac{\theta}{A}(Q_C - Q_B)} \quad (4.9)$$

$$P_R = P_C - \left(\frac{Q_R \theta}{A} + \zeta_R\right) (P_C - P_A) \quad (4.10)$$

$$P_S = P_C + \left(\frac{Q_S \theta}{A} + \zeta_S\right) (P_C - P_B) \quad (4.11)$$

onde

$$\theta = \frac{\Delta t}{\Delta x}, \quad \zeta_R = \theta c_R \quad \text{e} \quad \zeta_S = \theta c_S$$

resultantes de uma interpolação linear do tipo

$$\frac{x_C - x_R}{x_C - x_A} = \frac{(u_R + c_R) t}{\Delta x} = (u_R + c_R) \theta = \frac{Q_R}{A} \theta + \zeta_R = \frac{Q_C - Q_R}{Q_C - Q_A}$$

No caso analisado,  $u_R \ll c_R$  e  $u_S \ll c_S$  sendo possível simplificar as equações numeradas de 4.8 a 4.11 da seguinte forma:

$$Q_R = Q_C - \zeta_R(Q_C - Q_A)$$

$$Q_S = Q_C - \zeta_S(Q_C - Q_B)$$

$$P_R = P_C - \zeta_R(P_C - P_A)$$

$$P_S = P_C - \zeta_S(P_C - P_B)$$

podendo-se interpretar  $\zeta_R$  e  $\zeta_S$  como uma medida da quantidade de interpolação.

Adotando o critério de estabilidade de Courant, o espaçamento geométrico  $\Delta x$  foi escolhido como o maior entre os produtos  $c \Delta t$  próprios do problema. A velocidade  $c$  máxima foi conseguida a partir do máximo valor assumido pelo módulo de elasticidade volumétrica do óleo diesel na faixa de pressões a que fica submetido na linha de injeção.

Convém observar que a atribuição de valores a  $\zeta_R$  e  $\zeta_S$  deve, também, respeitar a condição  $\zeta \leq 1$  pois

$$\zeta = \theta c \leq \frac{c}{c_{\max}} \leq 1$$

Com a adoção de  $\zeta_R$  e  $\zeta_S$  convenientes é possível, portanto, utilizar espaçamentos constantes, satisfazendo os requisitos necessários para a adoção de um incremento de tempo pré-especificado, tornando menos relevante saber os valores exatos das velocidades  $c_R$  e  $c_S$ .

Essa interpolação, entretanto, introduz um amortecimento numérico artificial na solução que é tanto maior quanto menor for

No modelo tomou-se o cuidado de ao variar a rotação de funcionamento do motor variar também o número de trechos analisados na linha de injeção de forma a garantir constante e próximo da unidade.

Até aqui o desenvolvimento do método fornece 4 equações para 6 incógnitas ( $Q_R, Q_S, P_R, P_S, Q_X$  e  $P_X$ )

As duas outras equações necessárias são obtidas de 4.6 e 4.7 com a atribuição adequada às grandezas nelas envolvidas.

$$\frac{A}{\rho c_R} (P_X - P_R) + (Q_P - Q_R) + \frac{f}{2DA} Q_R |Q_R| \Delta t = 0$$

$$x_X - x_R = c_R \Delta t = \left[ \frac{Q_C - Q_R}{Q_C - Q_A} \right] (x_C - x_A) = \zeta_R \Delta x$$

e,

$$\frac{A}{\rho c_S} (P_X - P_S) - (Q_X - Q_S) - \frac{f}{2DA} Q_S |Q_S| \Delta t = 0$$

$$x_P - x_S = -c_S \Delta t = \left[ \frac{Q_C - Q_S}{Q_C - Q_B} \right] (x_C - x_B) = \zeta_S \Delta x$$

Um método de integração numérica exige sempre a especificação de condições de contorno apropriadas

O método das características requer, nessas situações, o fornecimento de valores de variáveis dependentes ou de equações que estabeleçam relações entre essas variáveis, em cada instante.

Nas extremidades da linha de injeção essas condições, em termos de P e Q, são necessárias para que a influência das interfaces (bomba injetora e bico injetor) no comportamento e respostas do fluido, observadas nas seções internas dessa tubulação durante os transientes, sejam reproduzidas satisfatoriamente.

Na extremidade da linha próxima à bomba injetora a pressão observada na câmara de descarga da bomba Pd é imposta como a variável dependente conhecida, utilizada na determinação da vazão através do método das características

Desta forma

$$Q_{X(1,j)} = \frac{A}{\rho c_S} [P_d(j-1) - P_s(1,j-1)] + Q_{S(1,j-1)} - \frac{f c_S}{2DA} Q_{S(1,j-1)} |Q_{S(1,j-1)}| \Delta t$$

Na extremidade da linha próxima ao injetor a variável dependente considerada conhecida foi a vazão volumétrica Q. O conjunto injetor é uma válvula cuja dinâmica de funcionamento e características geométricas permitiram estabelecer a relação dada pela equação 3.3.9 com esta variável Q.

A equação 3.3.9 modificada convenientemente fornece:

$$Q_{X(n,j-1)} = [(A_i + A_s)vn + Q_{inj}]_{(j-1)} = [CdA_o \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_i - P_c)} + (A_i + A_x)vn]_{(j-1)}$$

Assim sendo

$$P_{X(n,j)} = P_{R(n,j-1)} - \frac{\rho c_R}{A} [Q_{X(n,j-1)} - Q_{R(n,j-1)}] - \frac{f c_R}{2DA^2} Q_{R(n,j-1)} |Q_{R(n,j-1)}| \Delta t$$

Para se obter a solução numérica adequada do conjunto de equações do modelo é ainda necessário estabelecer condições iniciais de referência para as pressões ao longo da linha de injeção (pressão residual) em cada condição de funcionamento do sistema. Com essa finalidade utilizou-se no modelo um procedimento iterativo para obtenção dessa pressão residual.

Partindo-se de um valor pré-estabelecido comum a todas as condições de funcionamento, essa pressão de referência é substituída pela obtida no final de cada uma das varreduras



consideradas no processo. O número de varreduras consideradas suficientes e introduzidas no modelo foi quatro [22].

## 5- COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma comparação entre resultados numéricos e experimentais deve ser feita para validar o modelo de simulação. Para isso é necessário conhecer um grande número de dados de um modelo específico de sistema de injeção, de tipo semelhante ao modelado.

Os dados experimentais fornecidos na literatura, como os apresentados no capítulo 2 deste trabalho, não costumam vir acompanhados das características geométricas completas dos sistemas a que se referem, tornando inviável a simulação.

Portanto, para poder avaliar a qualidade do modelo é necessário realizar experimentos com sistemas de injeção existentes e determinar, pelo menos, a pressão de injeção e a curva de levantamento de agulha do injetor. Esses experimentos, entretanto, não puderam ser realizados, dentro do prazo disponível, devido a dificuldades experimentais que não puderam ser contornadas a tempo.

Desta maneira, embora tenham sido levantadas todas as características geométricas do sistema de injeção utilizado no motor OM-352 de fabricação da Mercedes Benz do Brasil, só foi possível realizar uma avaliação qualitativa do modelo desenvolvido.

Neste trabalho será feita, exclusivamente, uma comparação de tendências observadas para o sistema de injeção simulado com aquelas mencionadas na literatura para sistemas semelhantes. Em particular serão utilizados os dados experimentais levantados por El-Erian [14], já apresentados no item 2.2.

As Figuras 5.1 a 5.36, apresentadas no final desse capítulo, correspondem ao resultado da simulação de um sistema de injeção utilizando o modelo desenvolvido. Mostram o comportamento dinâmico da pressão em vários pontos do sistema simulado, do movimento de

alguns componentes mecânicos e da vazão injetada na câmara de combustão, para diferentes condições de operação do sistema.

Analisando os conjuntos de gráficos formados pelas Figuras 5.1 até 5.6 e pelas Figuras 5.7 a 5.12, correspondentes ao funcionamento do sistema de injeção com mesmas posições de cremalheira (9 mm) e velocidades de motor diferentes (2000 e 2800 rpm, respectivamente) observa-se:

- um aumento nos valores das pressões máximas na câmara de pressão da bomba injetora com a velocidade do motor (475 bar a 2800 rpm contra 370 bar a 2000 rpm), bem como nas pressões na câmara de descarga (450 bar e 350 bar respectivamente). Estes acréscimos de pressão estão coerentes com os dados experimentais apresentados na Figura 2.2.2.1 .
- as pressões na câmara da bomba, determinadas nos instantes de fechamento da janela de admissão (40 bar para 2800rpm e 27 bar para 2000 rpm) e de início de movimento da válvula de descarga (110 bar para 2800 rpm e 90 bar para 2000 rpm) também mostram uma tendência de aumento com a rotação, de acordo com os resultados mostrados na Figura 2.2.2.1 .

Para a determinação dos valores mencionados acima utilizou-se as Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.7, 5.8 e 5.9.

Observa-se ainda que:

- a taxa de injeção máxima aumentou de 60 mm<sup>3</sup>/ms (10 mm<sup>3</sup>/grau de camo) para 69 mm<sup>3</sup>/ms (8,2 mm<sup>3</sup>/grau de camo) com o aumento da rotação de funcionamento do motor (ver Figuras 5.4 e 5.10).
- o tempo de injeção diminuiu de 1,83 ms (11 graus de camo) para 1,49ms (12,5 graus de camo) com o aumento da velocidade do motor. Isso pode ser visualizado mais nitidamente com o uso das Figuras 5.5 e 5.11, corespondentes ao movimento da agulha do injetor. Tais valores coincidem com os resultados experimentais apresentados na Figura 2.2.2.1 .



- o atraso de injeção aumentou em 2 graus de camo com o aumento da rotação, de forma coerente com os dados fornecidos na Figura 2.2.2.2.

As figuras numeradas de 5.19 a 5.24, correspondentes ao funcionamento do motor numa rotação de 1200 rpm com posição de cremalheira da bomba injetora também de 9 mm, corroboram a coerência dos resultados gerados pelo programa simulador, ao fornecer as mesmas tendências de desempenho, admitidas corretas, na discussão anterior.

Para uma mesma rotação (2000 rpm) e cremalheira aumentando de 6,5mm (ver figuras numeradas de 5.13 a 5.18) para 9mm, observa-se:

- um aumento de 52 para 69 mm<sup>3</sup> por injeção, com taxas máximas de 9,33 e 10 mm<sup>3</sup> /grau de camo respectivamente (comparar Figuras 5.6 e 5.18);
- um aumento de duração de injeção de 9 para 11 graus de ângulo de camo, sem se observar atrasos significativos de início de injeção (comparar Figuras 5.4 e 5.5 com 5.16 e 5.17);
- as pressões características das câmaras de pressão da bomba (máxima, no fechamento da janela de admissão e no início da abertura da válvula de descarga) bem como a pressão máxima na câmara de descarga mostram uma tendência de elevação com o aumento de cremalheira (ver Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.13, 5.14 e 5.15 para confirmação dessas afirmações).

Esses últimos resultados estão coerentes com aqueles obtidos experimentalmente, apresentados com índices "a" e "b" na Figura 2.2.2.1.

Para dar prosseguimento às comparações, considerando as conclusões disponíveis nos itens 2.2.3 e 2.2.4 e obtidas a partir de resultados experimentais, foram simuladas ainda mudanças de rigidez da mola do injetor e de comprimento da linha de injeção.

Um aumento na rigidez da mola do injetor dos 189 N/mm nominais do sistema implementado para 245 N/mm gerou os gráficos correspondentes às figuras numeradas de 5.25 a 5.30.

Nesta simulação foi mudada a pressão de abertura do injetor que define a pré-carga associada à válvula de agulha, considerando uma mesma deformação prévia da mola.

O valor inicial da pressão residual da linha não foi aumentado admitindo que esta pressão se elevaria automaticamente com a utilização de um processo iterativo com essa finalidade, previsto no programa simulador.

Entretanto, não se verificou nenhuma mudança significativa no valor inicial desta pressão de referência após os quatro passos pré-estabelecidos para a convergência; era de se esperar maiores pressões entre injeções sucessivas na linha de injeção quando se utiliza uma mola de maior rigidez.

Os resultados obtidos, todavia, estão perfeitamente de acordo com os resultados experimentais relacionados no item 2.2.3 deste trabalho, visualizados através da Figura 2.2.3.1 do mesmo item.

Uma comparação dessa simulação com os resultados obtidos para a mesma rotação (2000 rpm) e mesma posição de cremalheira (9mm), utilizando a mola original (Figuras 5.1 a 5.6) demonstra:

- uma independência entre os eventos que ocorrem nas extremidades da linha próximas ao injetor e à bomba, comprovados pelos pequenos efeitos da rigidez da mola do injetor nas pressões desenvolvidas nas câmaras de pressão e de descarga da bomba. Comparando as Figuras 5.25, 5.26 e 5.27 com 5.1, 5.2 e 5.3 sómente se observa uma mudança de comportamento na pressão de descarga no final do processo de injeção, provavelmente devida a um aumento da pressão residual na linha no final no quarto e último passo, no caso descrito pelas primeiras figuras; uma convergência definitiva pode não ter sido conseguida neste caso.
- uma duração de injeção menor com o uso da mola mais rígida (9,6 graus de camo contra ii).

- um atraso de início de injeção para rigidez de 245 N/mm (comparar Figuras 5.5 e 5.29).

- um volume injetado total maior para a mola menos rígida (ver Figuras 5.6 e 5.30).

O efeito da variação do comprimento da linha de injeção pode ser observado a partir da comparação entre as figuras numeradas de 5.1 a 5.6 com suas correspondentes 5.31 a 5.36, geradas quando se simulou o mesmo sistema de injeção com comprimento da linha duplicado.

Os resultados experimentais mencionados no item 2.2.4 e apresentados na Figura 2.2.4.1 foram levados em consideração.

A partir das simulações observa-se que:

- não ocorrem variações significativas nas pressões nas câmaras de pressão e de descarga na bomba injetora. Observa-se, entretanto, uma redução nas amplitudes de oscilação das pressões na câmara de descarga quando se aumenta o comprimento da linha (ver Figuras 5.2 e 5.32).

- a duração de injeção e o volume total de combustível dosado praticamente não se alteram com o aumento do comprimento da linha (ver Figuras 5.5, 5.35, 5.6 e 5.36).

- a duplicação do comprimento da linha acarreta um atraso no início de injeção em torno de 5 graus de ângulo de camo.



2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

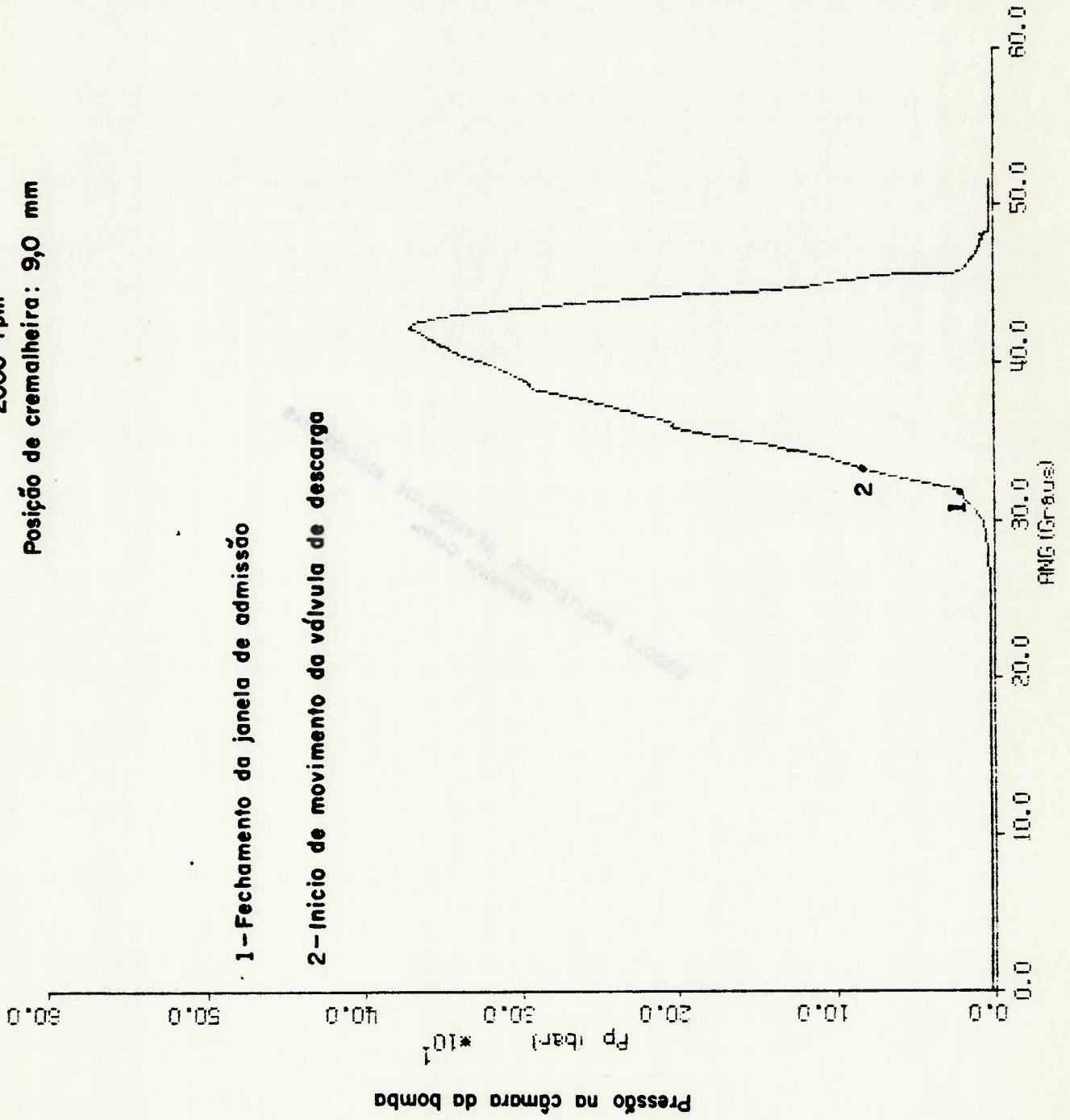


Figura 5.1

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 90 mm

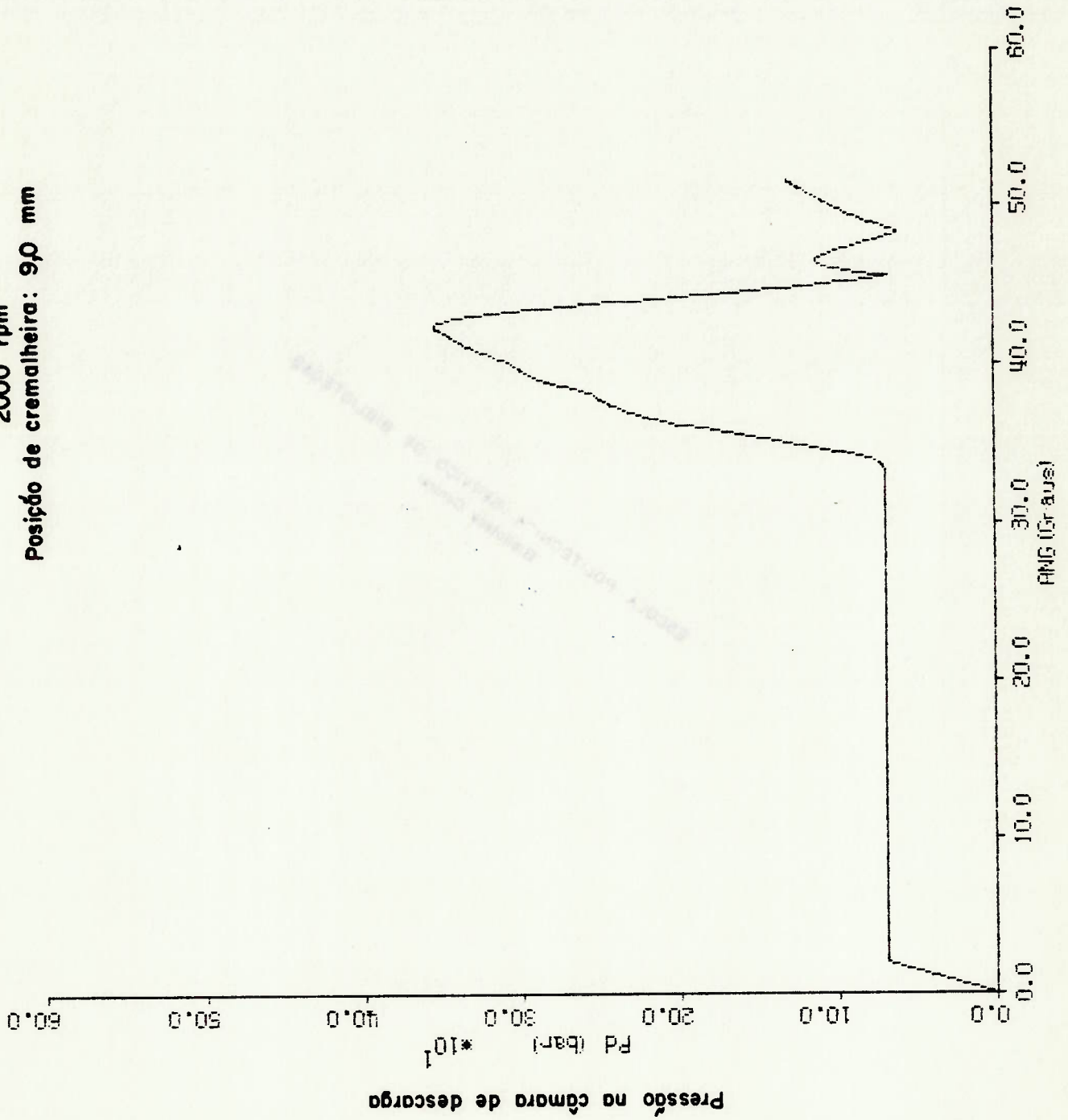


Figura 5.2

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

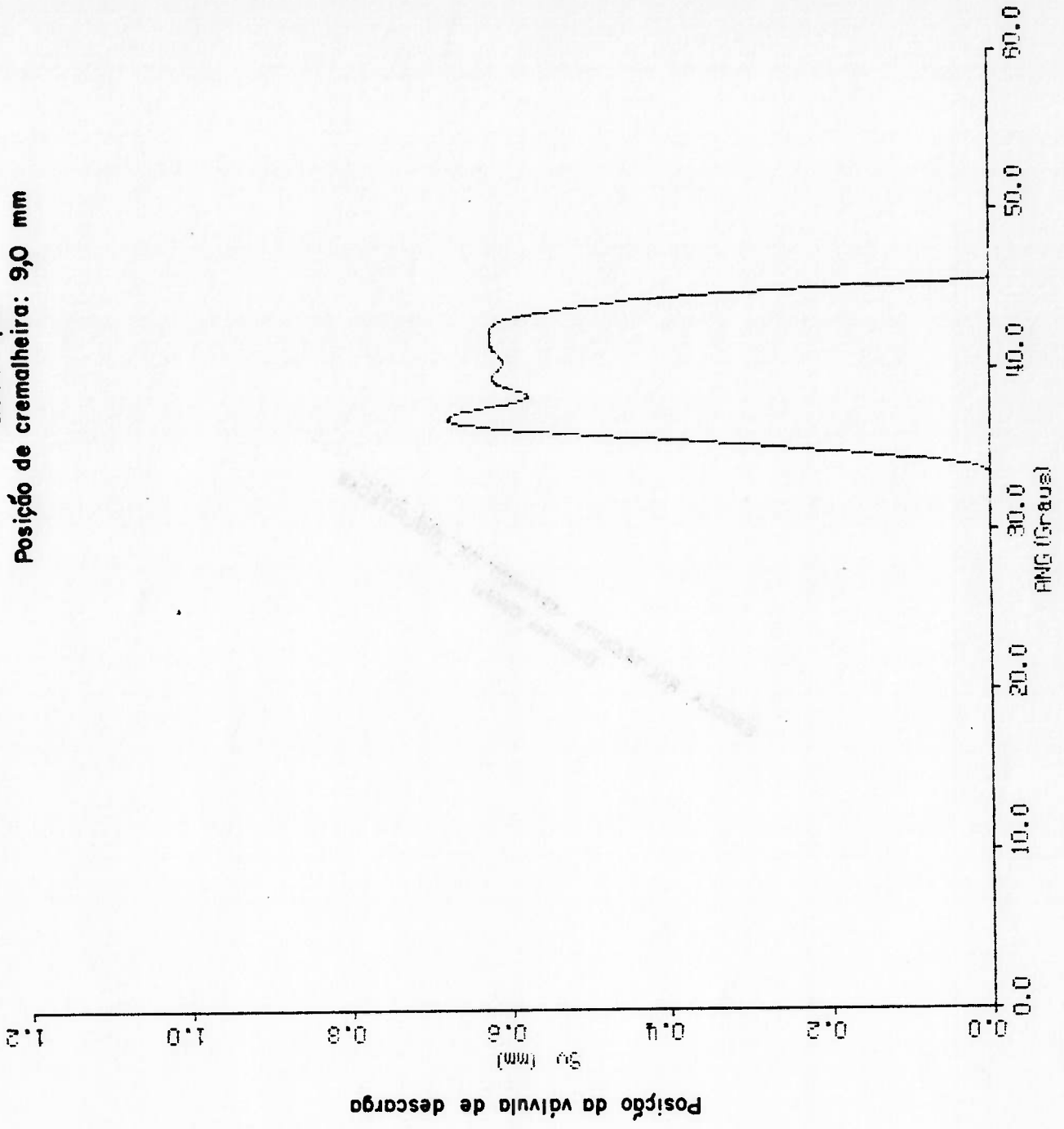


Figura 5.3



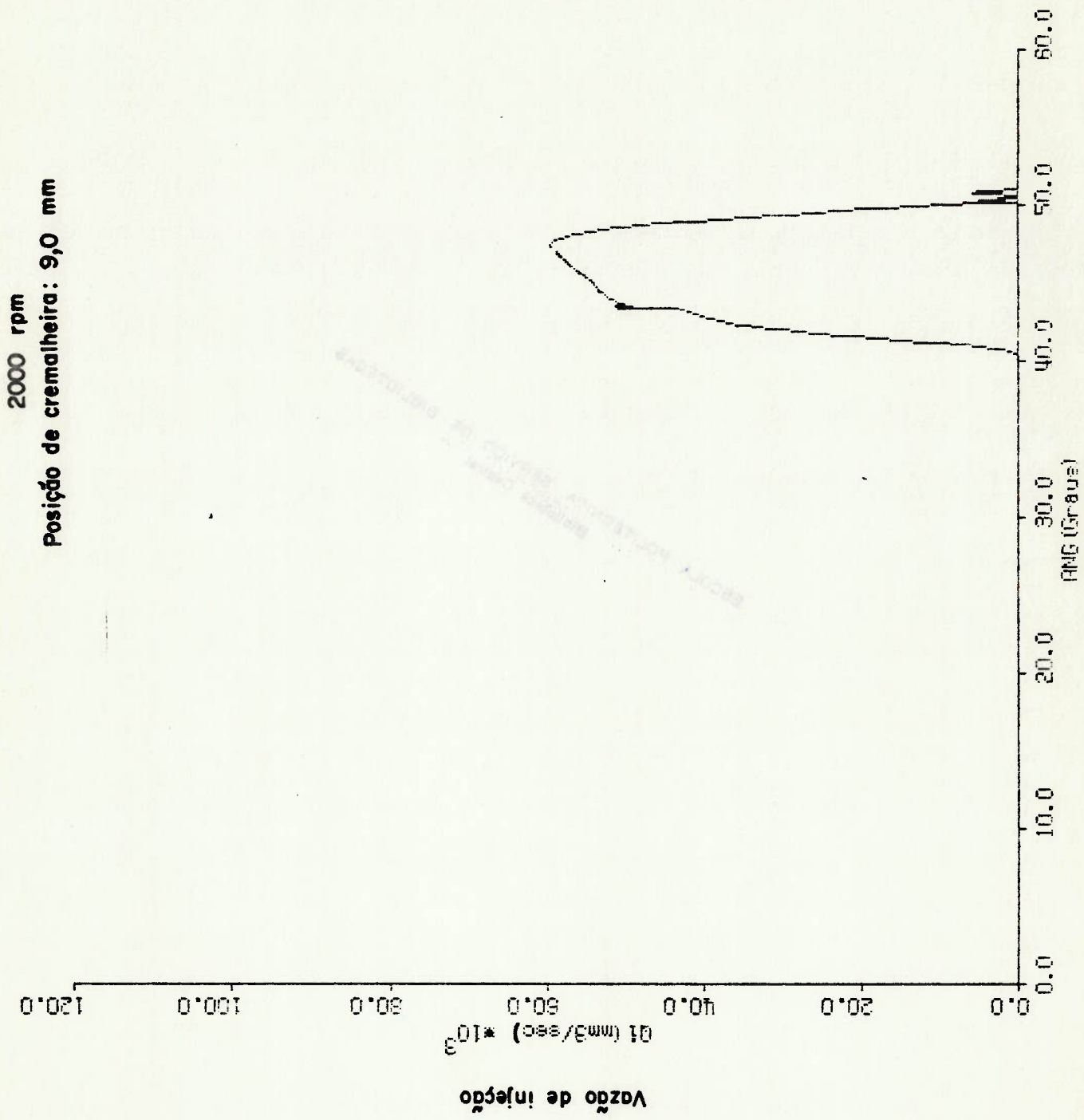


Figura 5.4

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

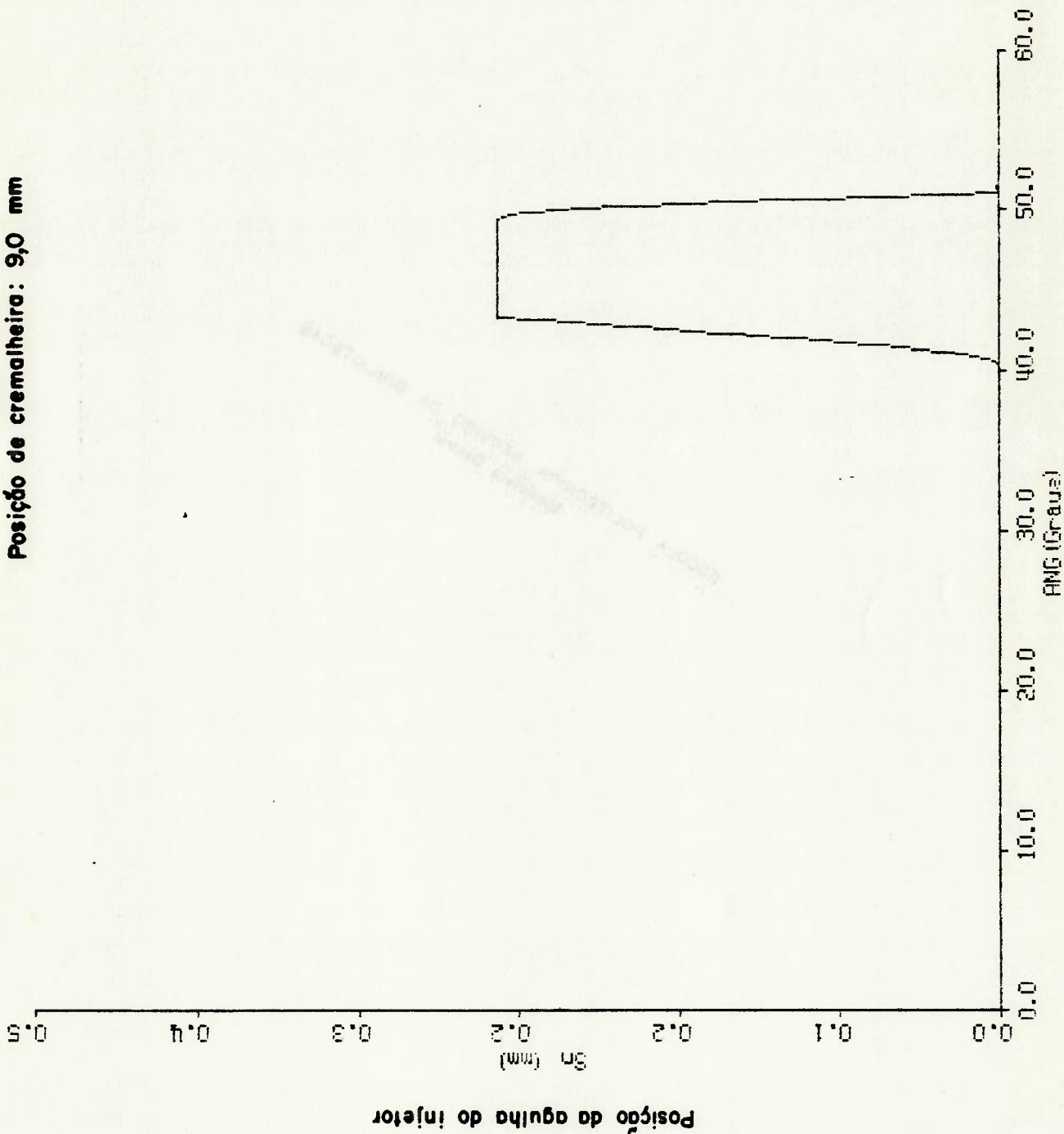


Figura 5.5

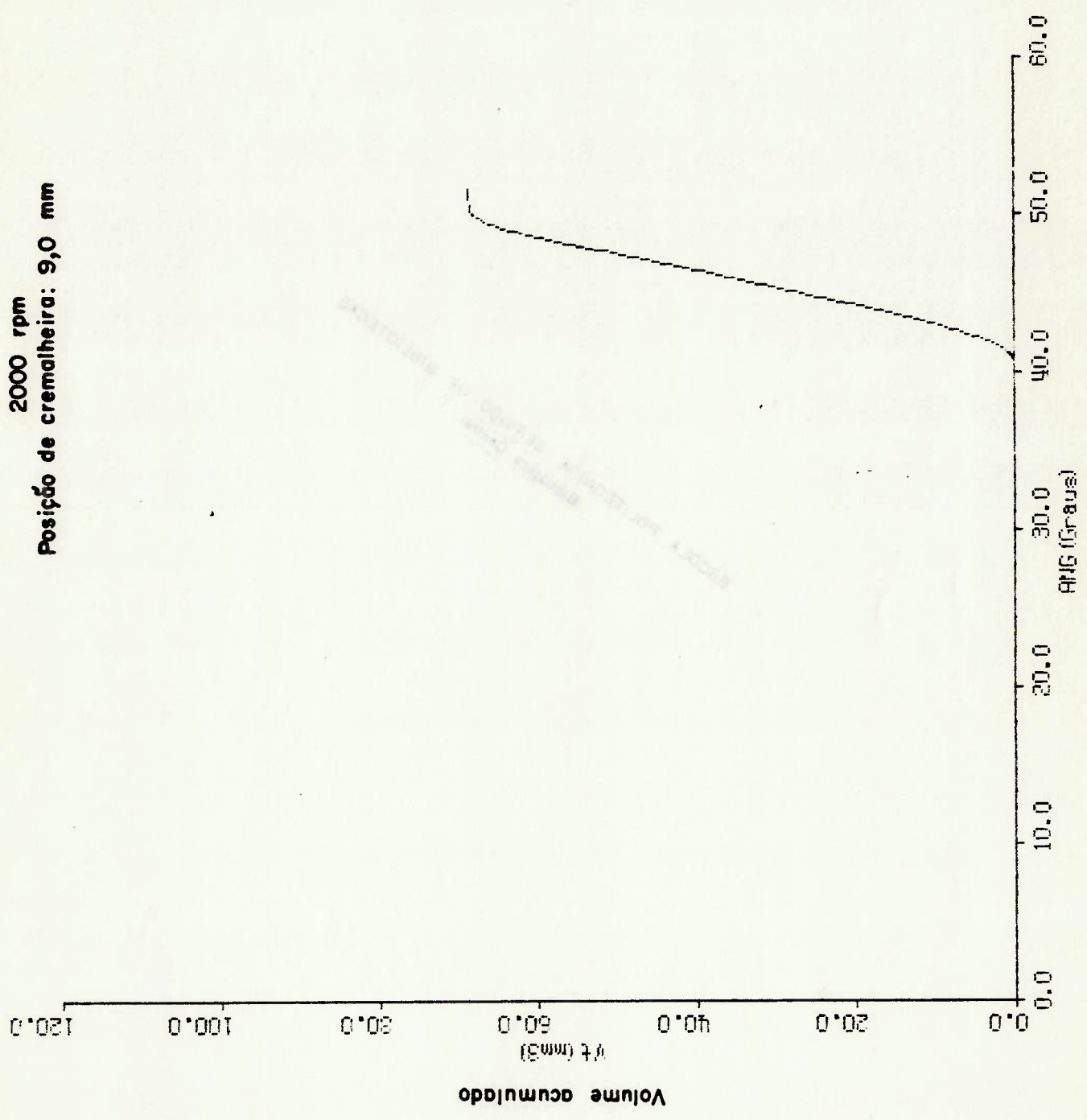


Figura 5.6



2800 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

1 - Fechamento da janela de admissão

2 - Início de movimento da válvula de descarga

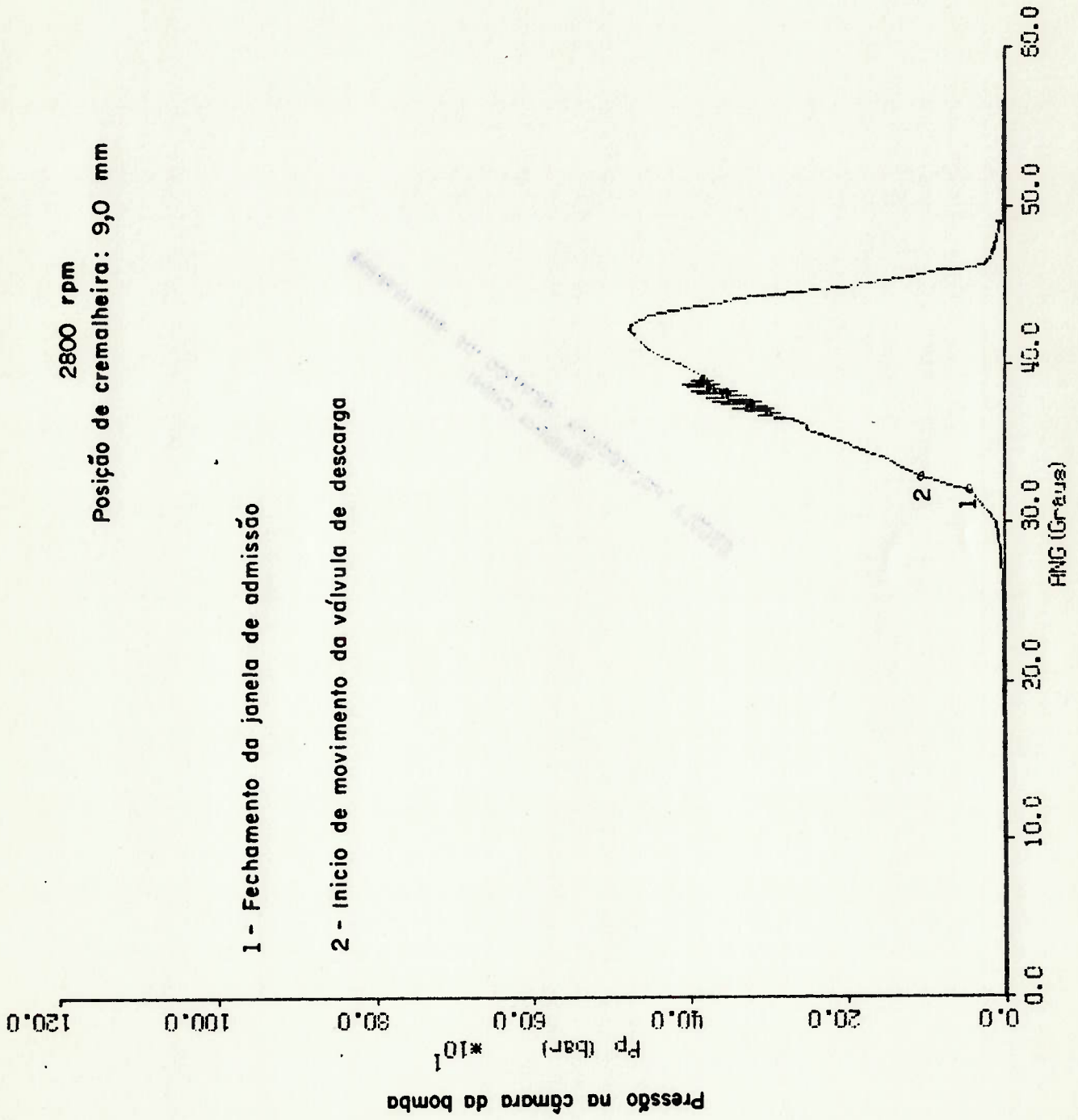


Figura 5.7

2800 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

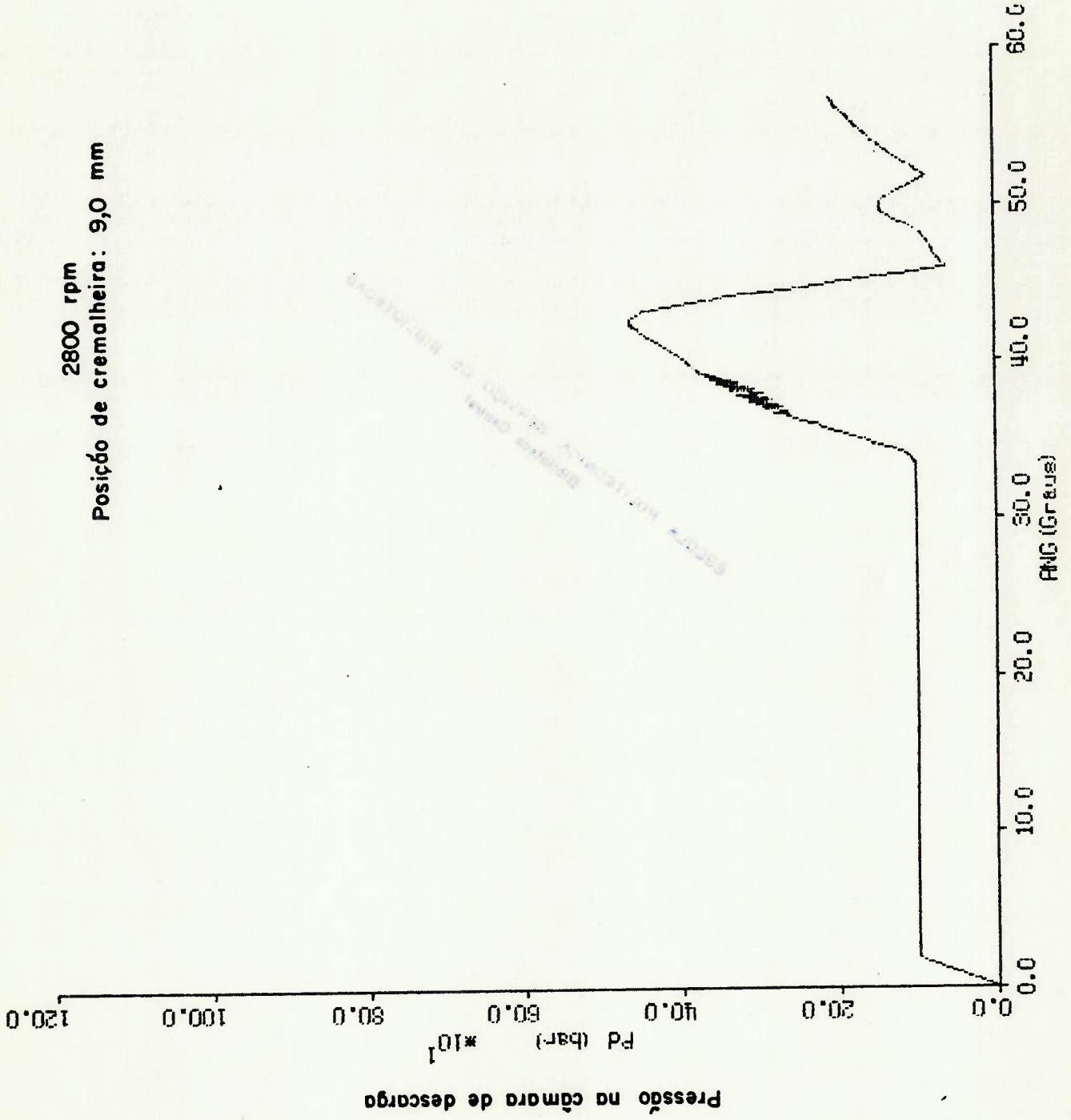


Figura 5.8

2800 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

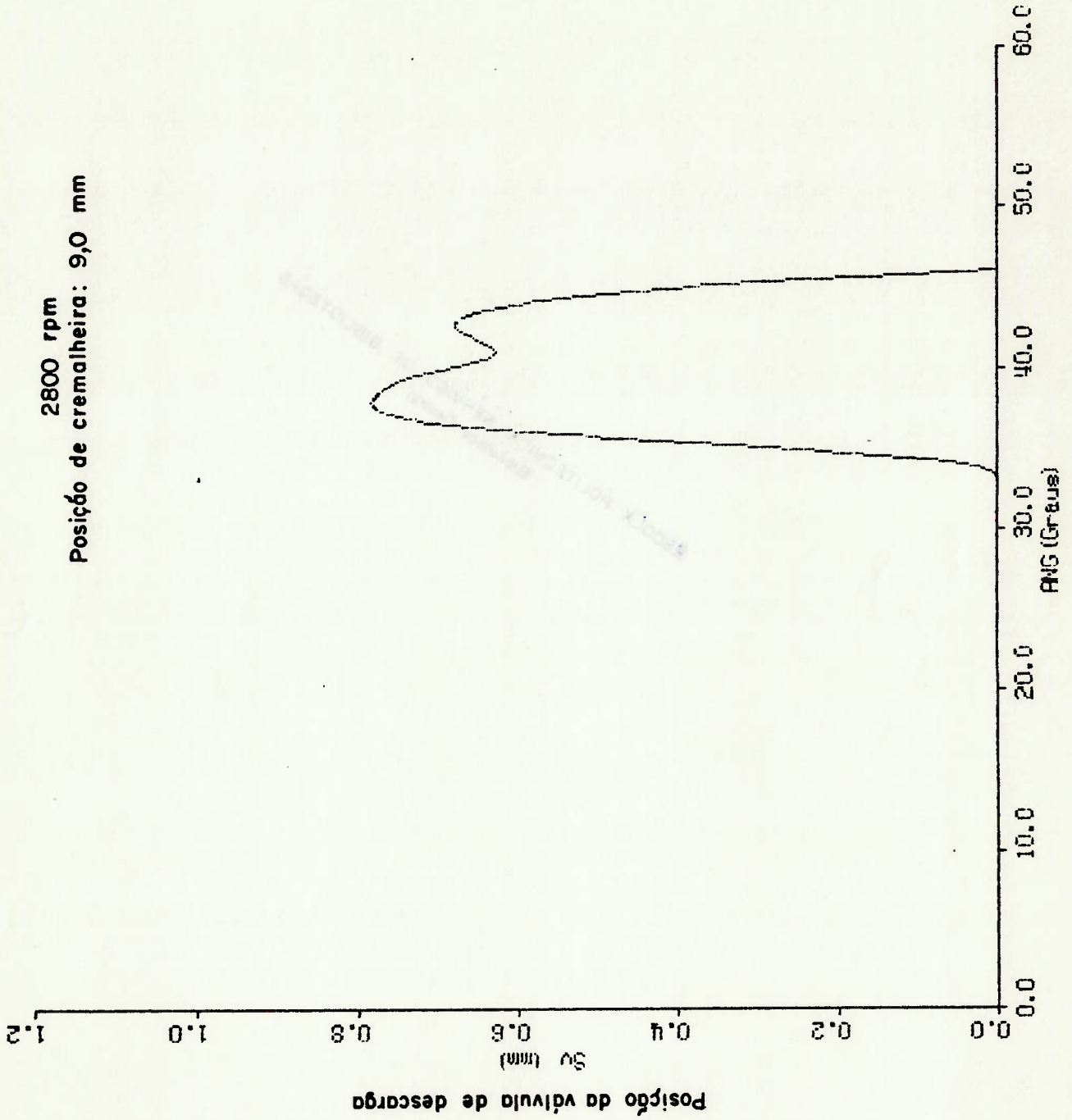


Figura 5.9



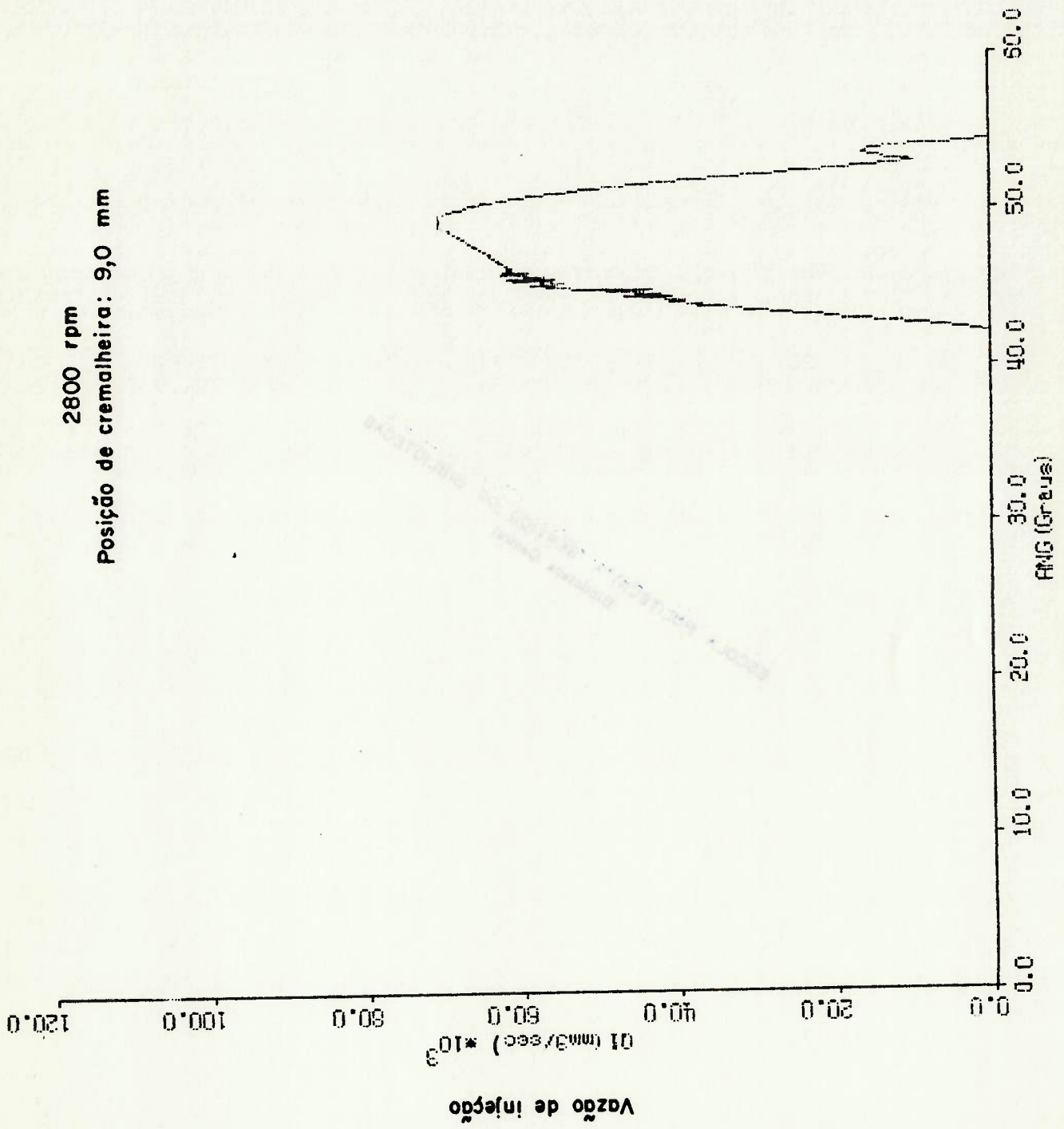


Figura 5.10

2800 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

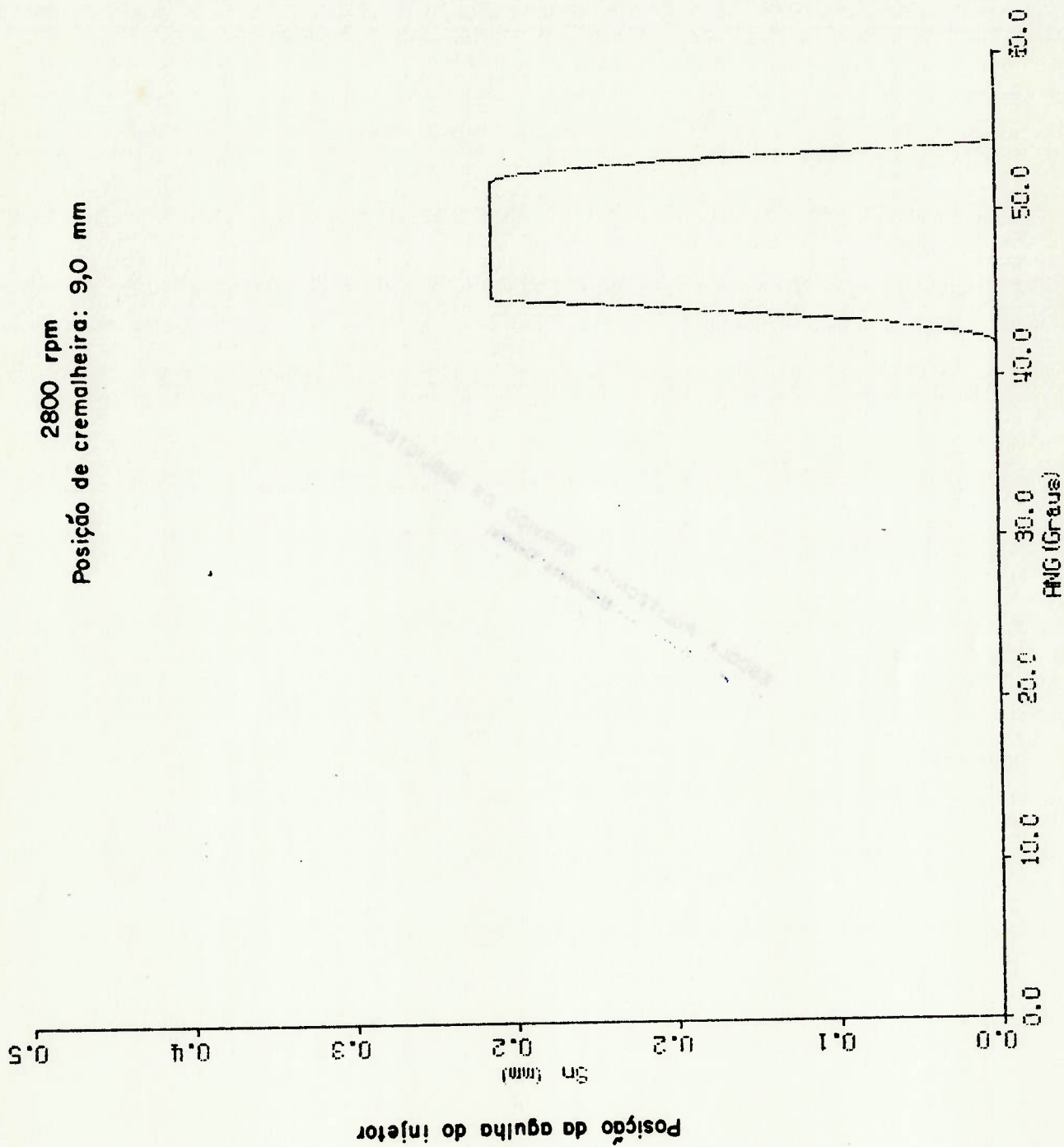


Figura 5.11

2800 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

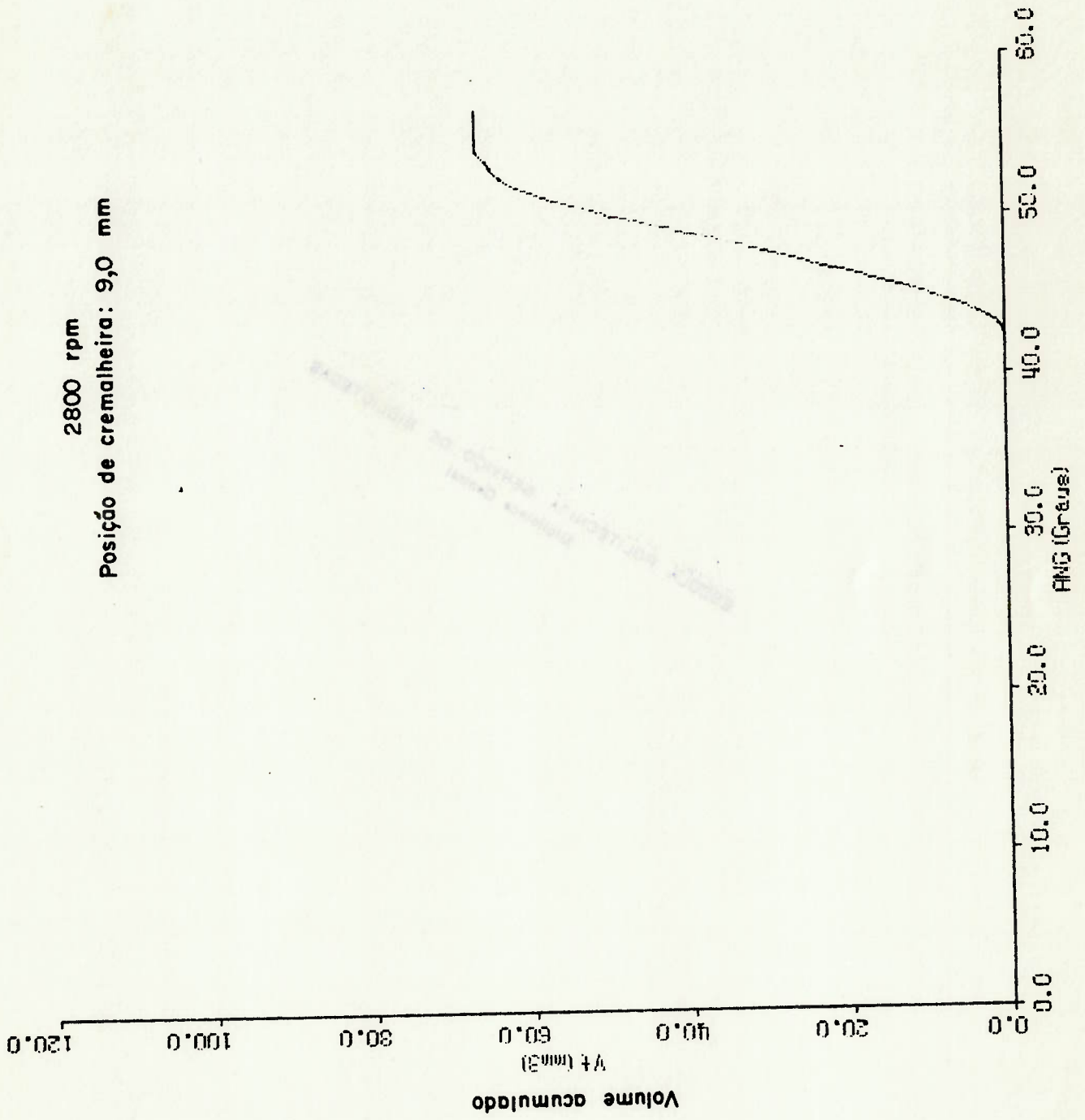


Figura 5.12



2000 rpm  
Posição de cremalheira: 6,5 mm

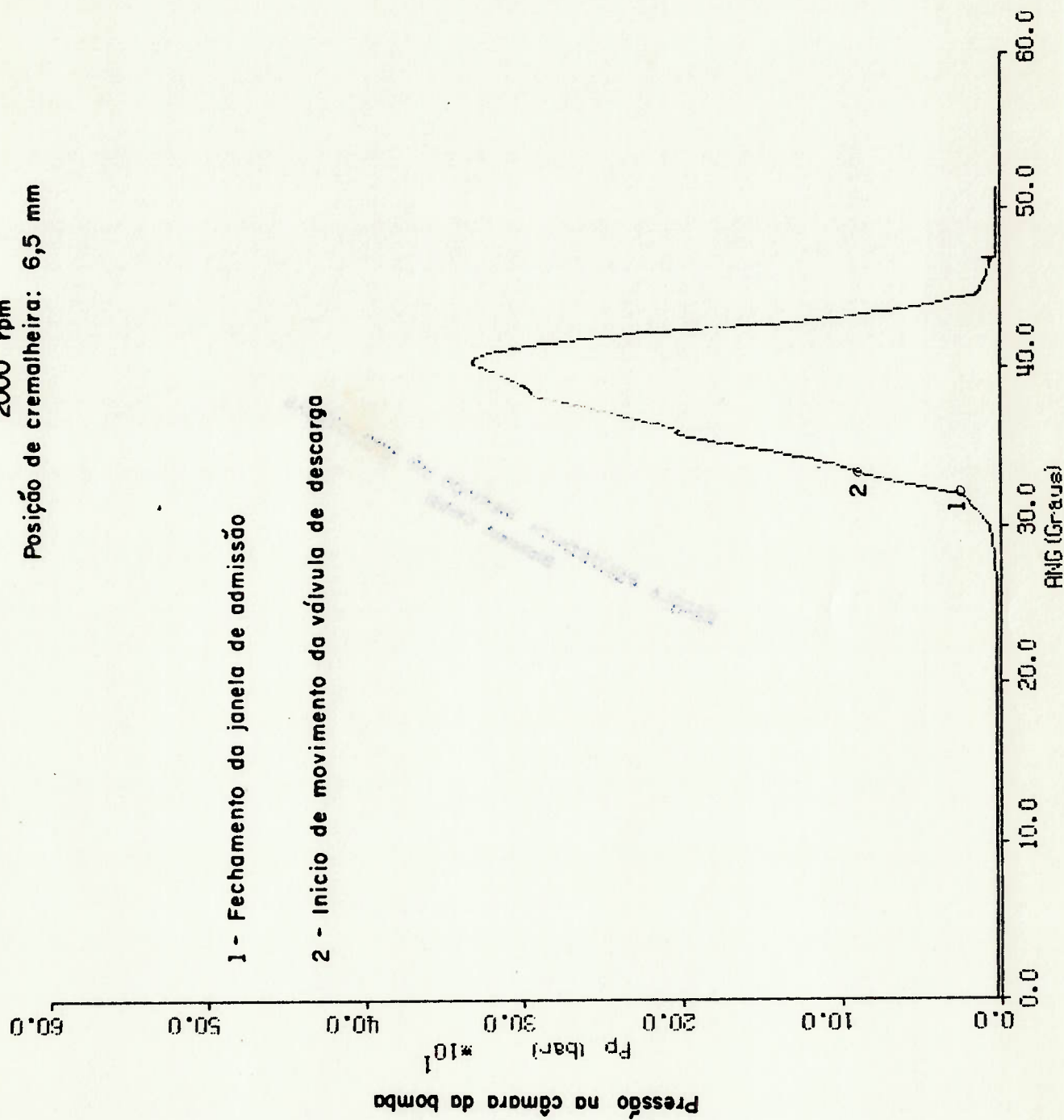


Figura 5.13

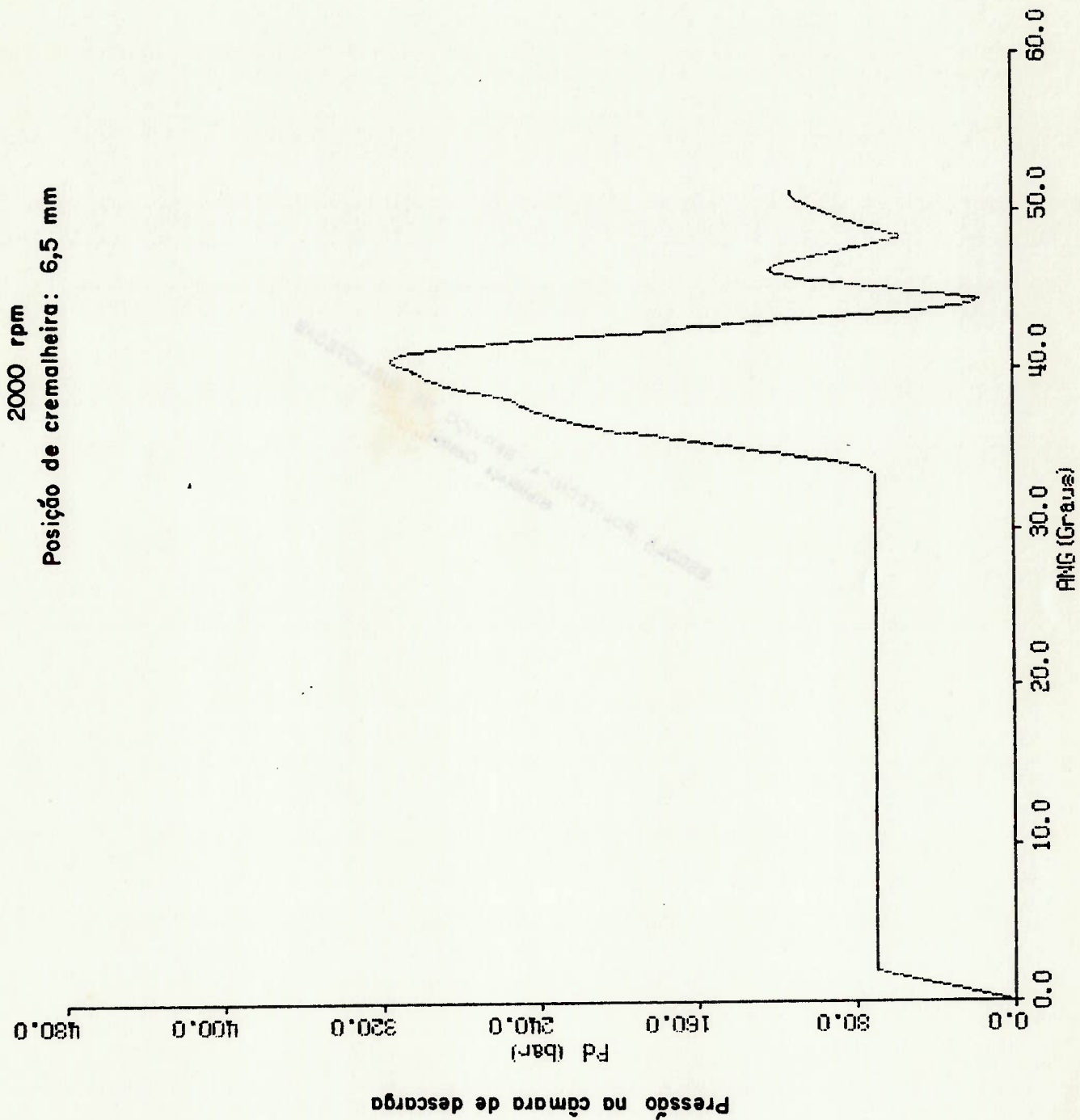


Figura 5.14

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 6,5 mm

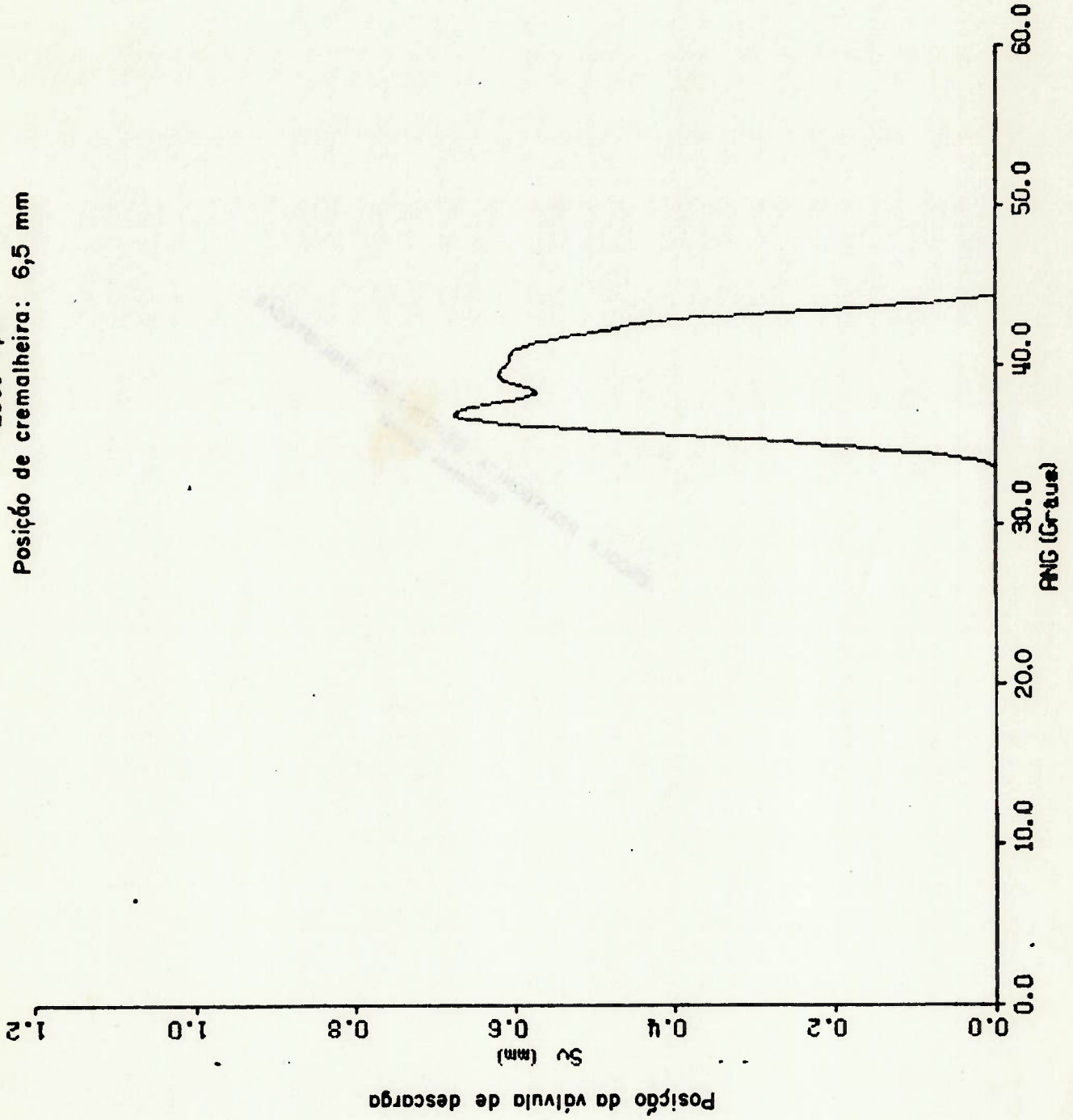


Figura 5.15



2000 rpm  
Posição de cremalheira: 6,5 mm

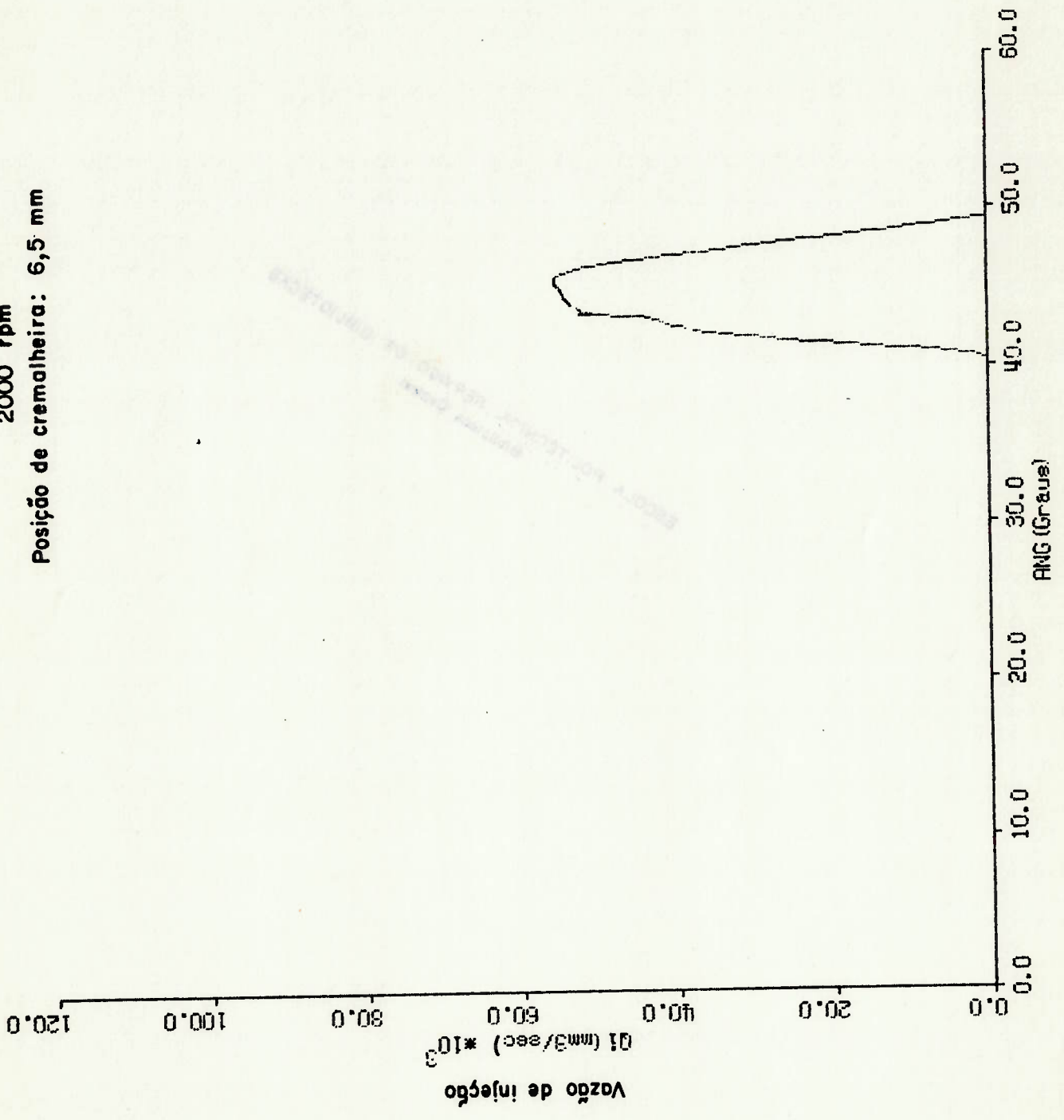


Figura 5.16

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 6,5 mm

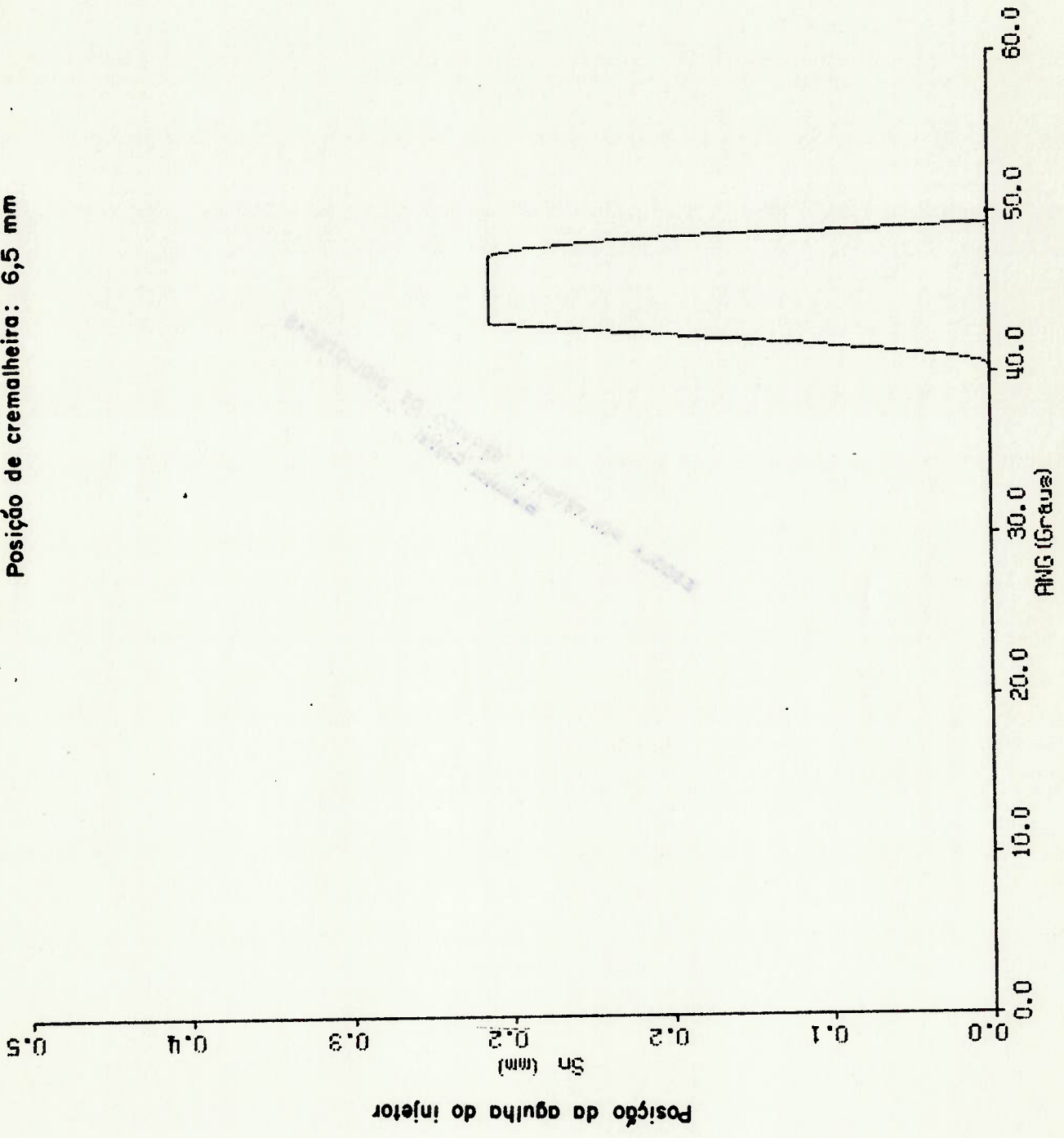


Figura 5.17

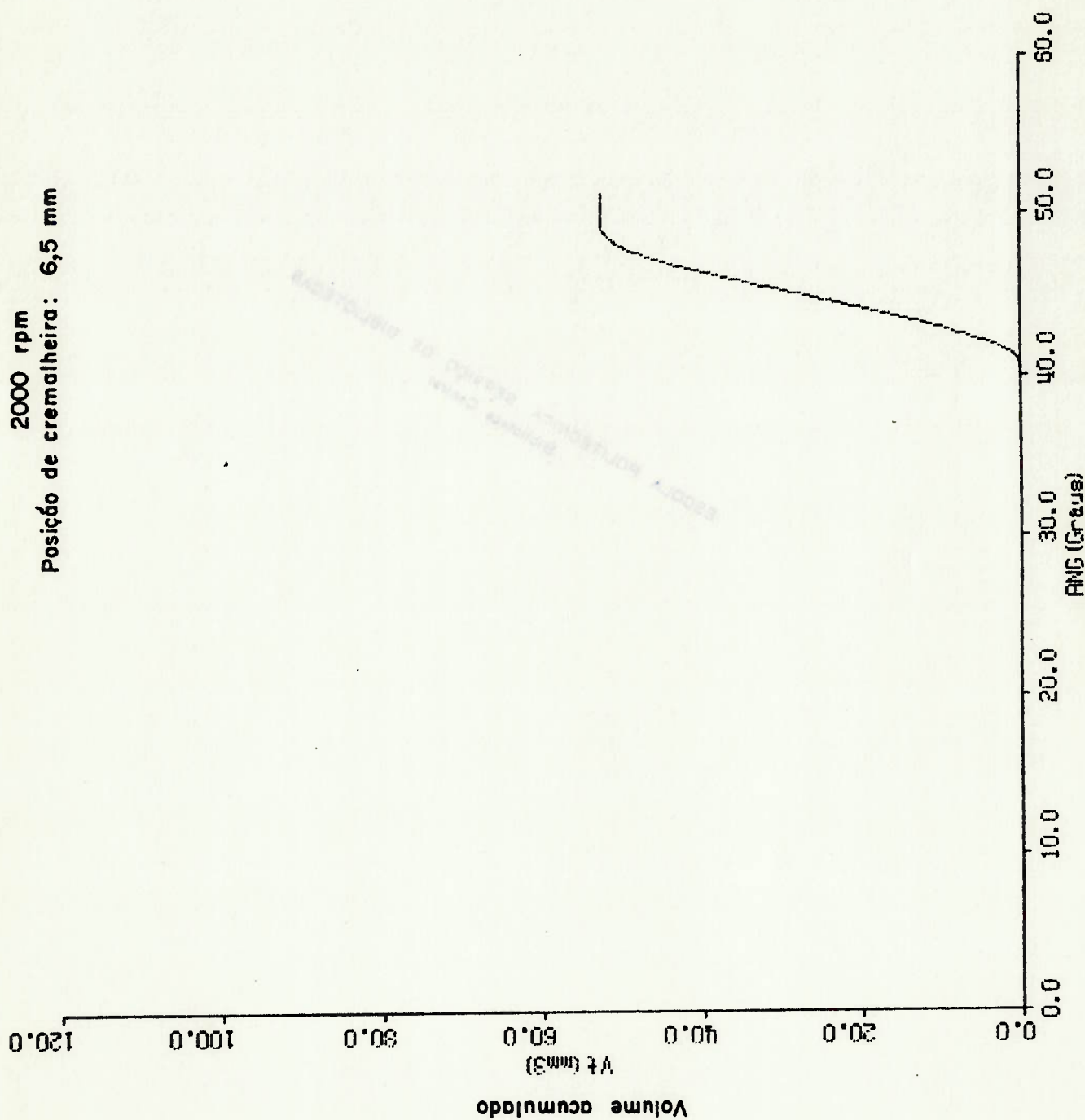


Figura 5.18

1200 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

1 - Fechamento da janela de admissão

2 - Início de movimento da válvula de descarga

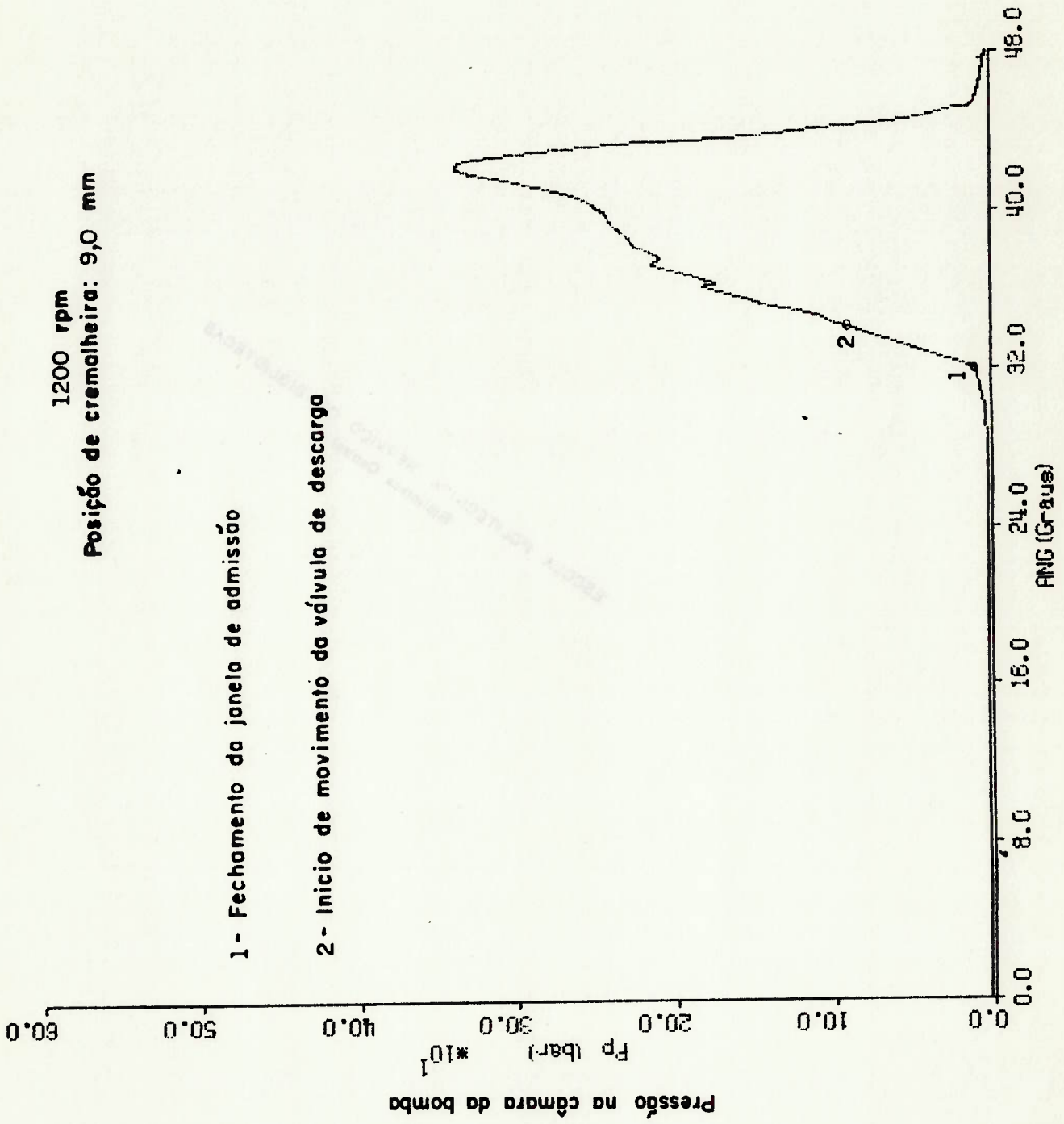


Figura 5.19



1200 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

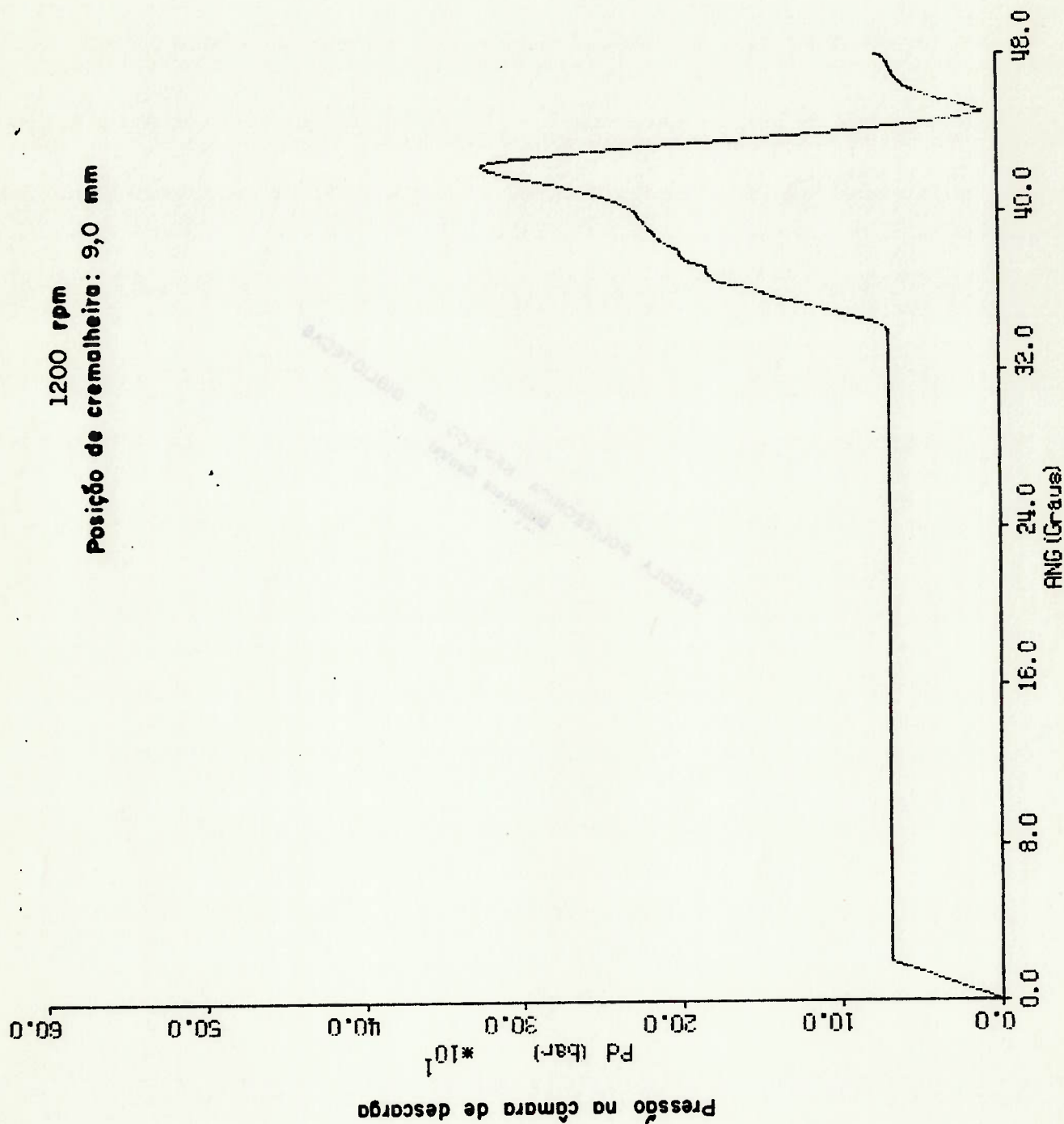


Figura 5.20

1200 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

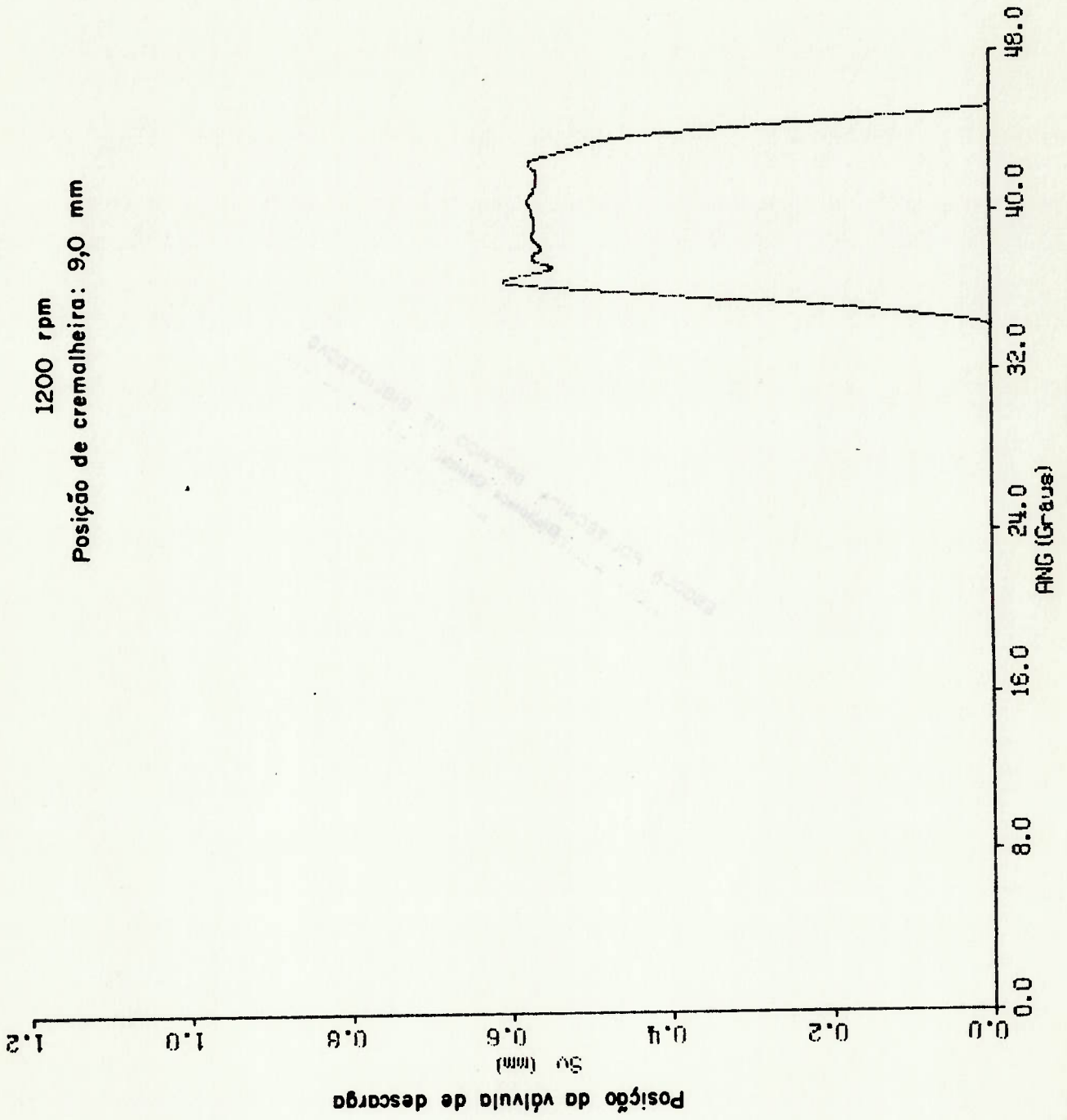


Figura 5.21

1200 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

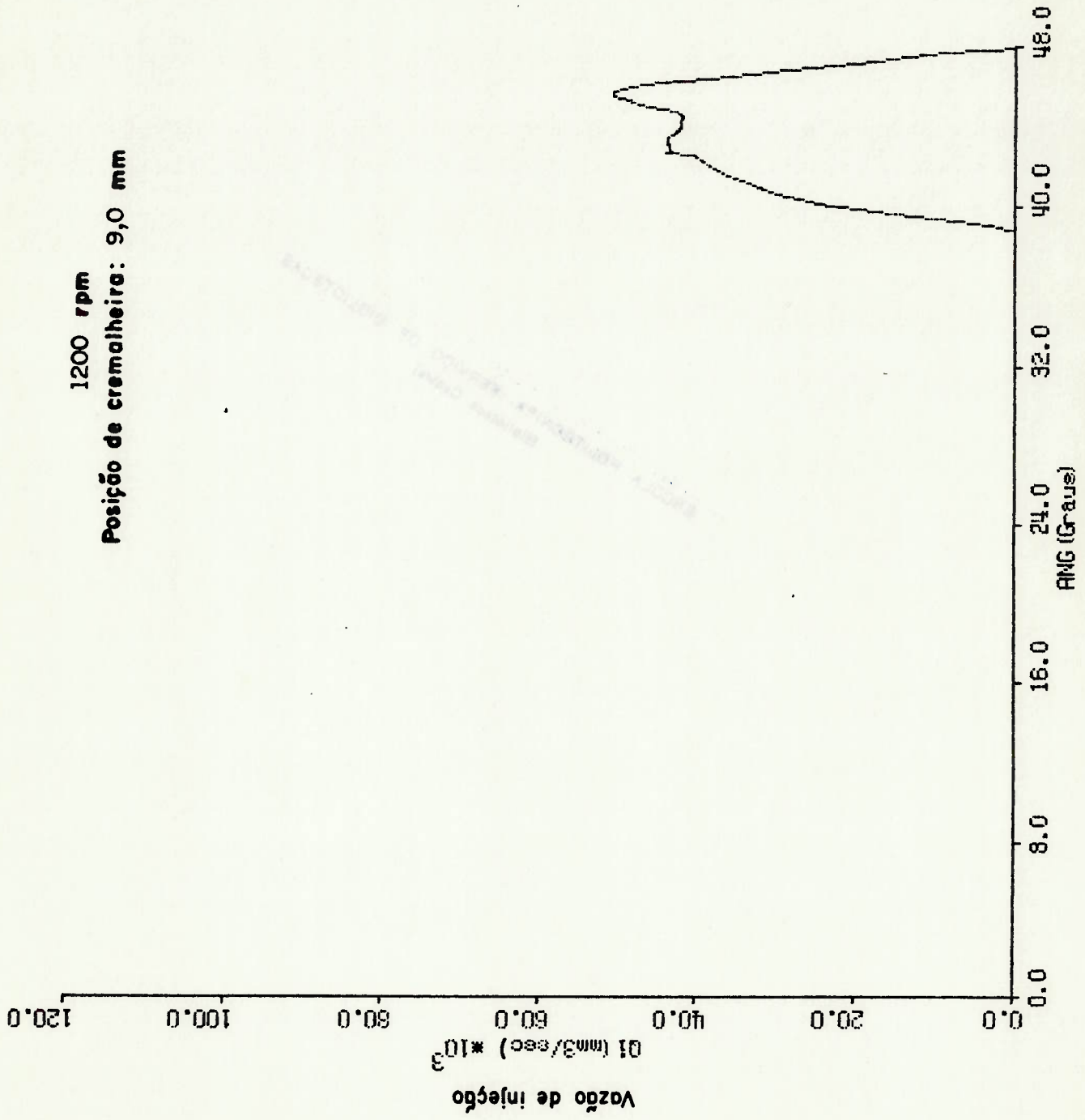


Figura 5.22

1200 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

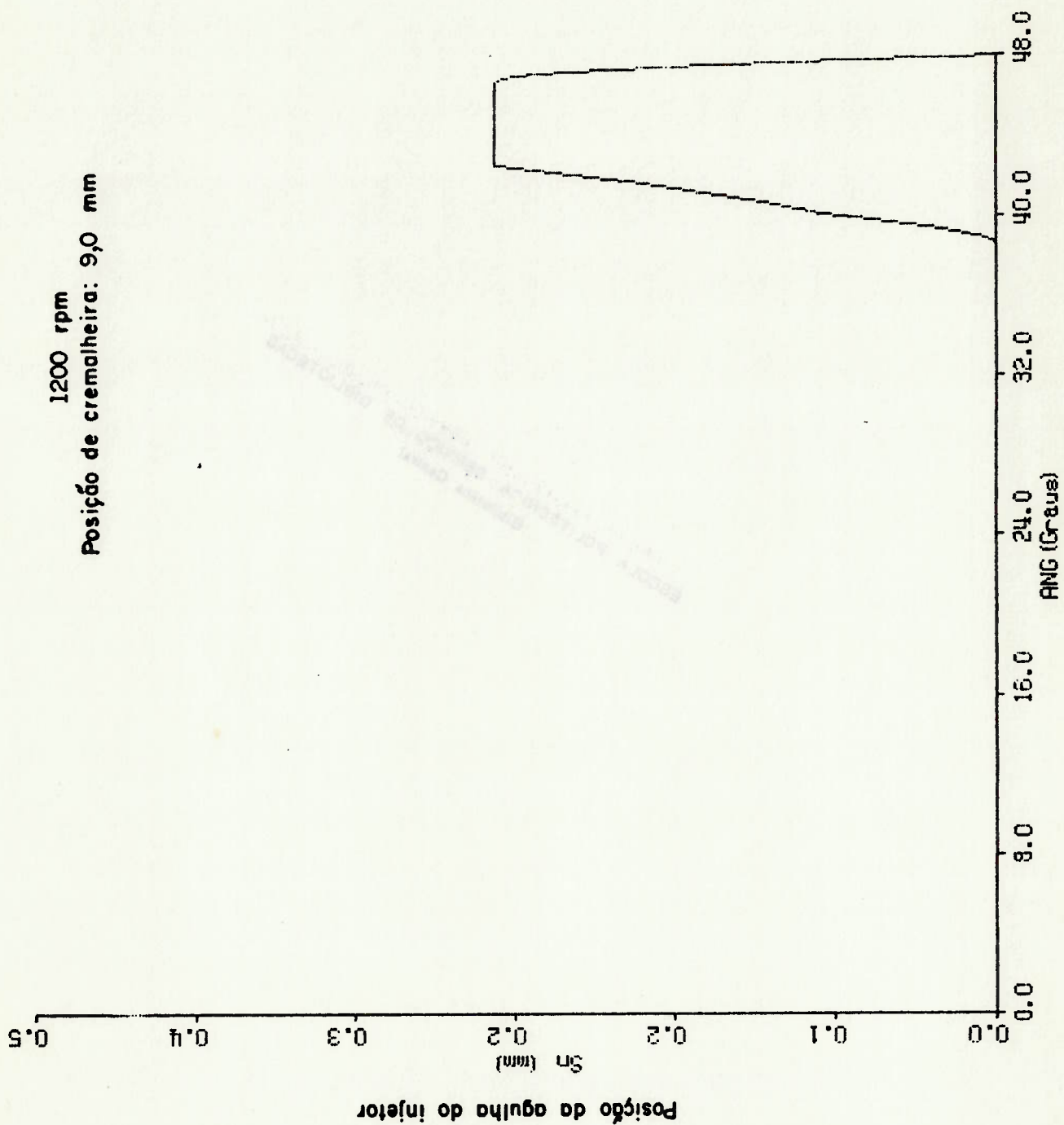


Figura 5.23



1200 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

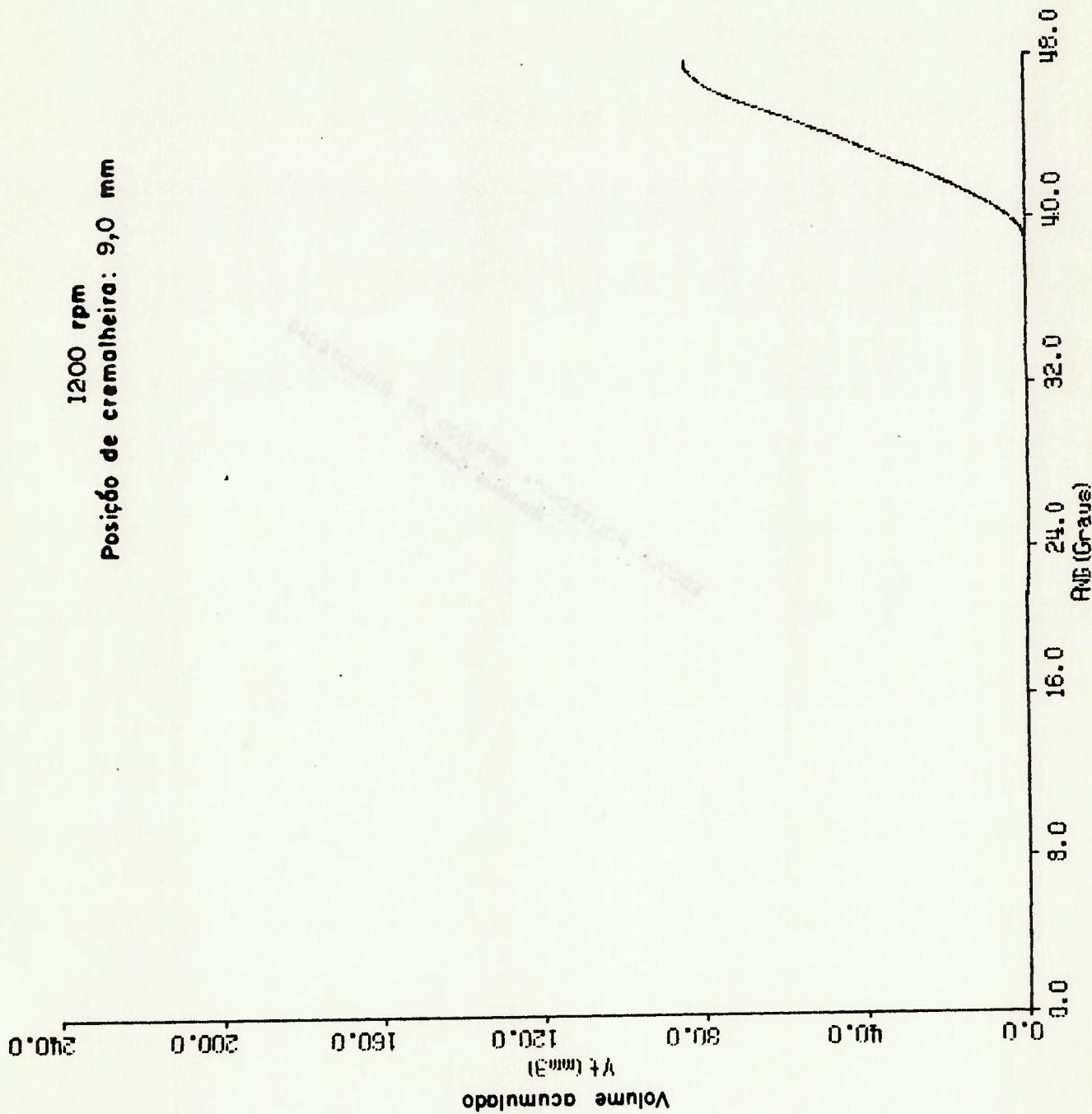


Figura 5.24

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm  
Rigidez da mola do injetor: 245 N/mm

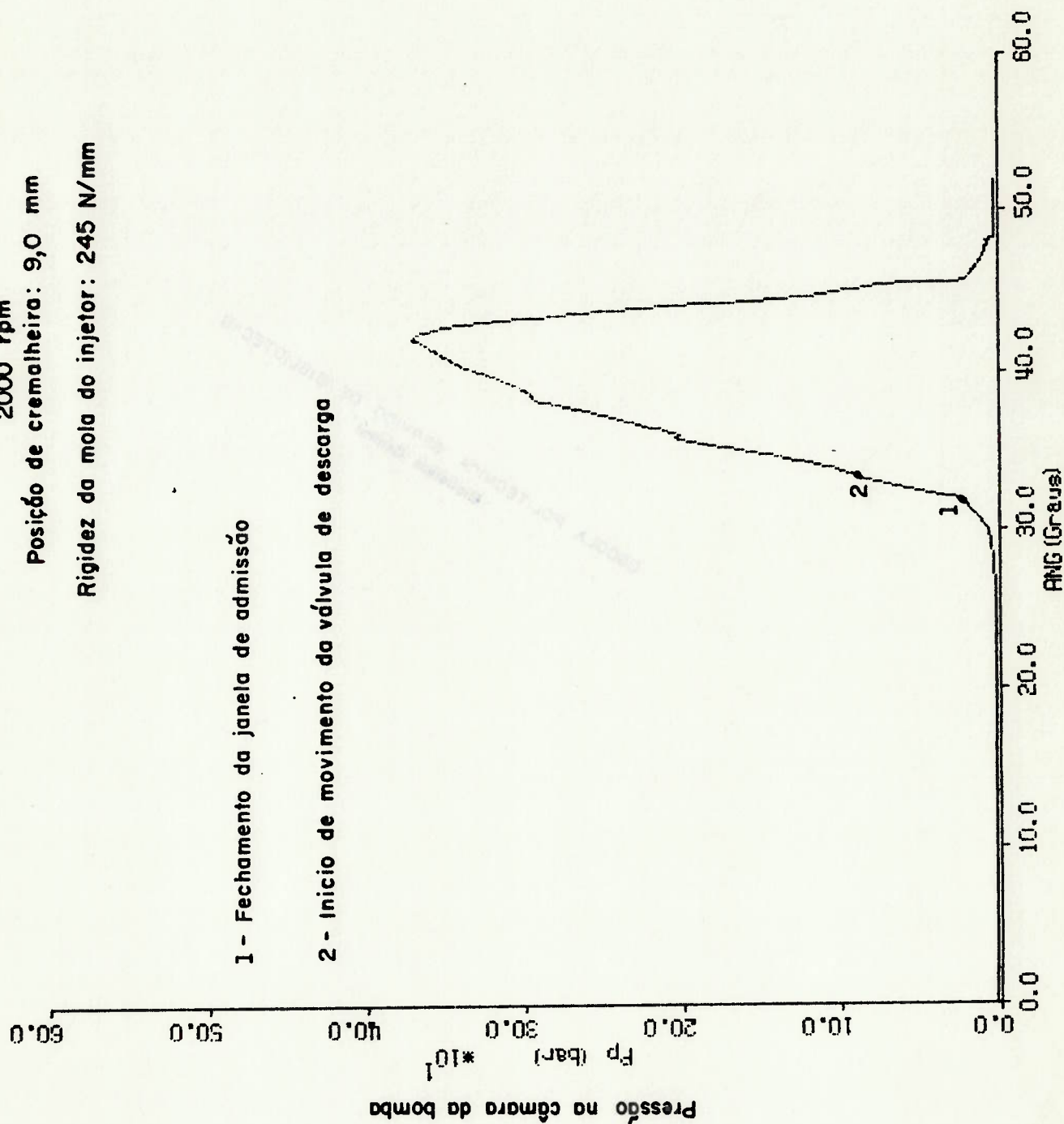


Figura 5.25

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm  
Rigidez da mola do injetor: 245 N/mm

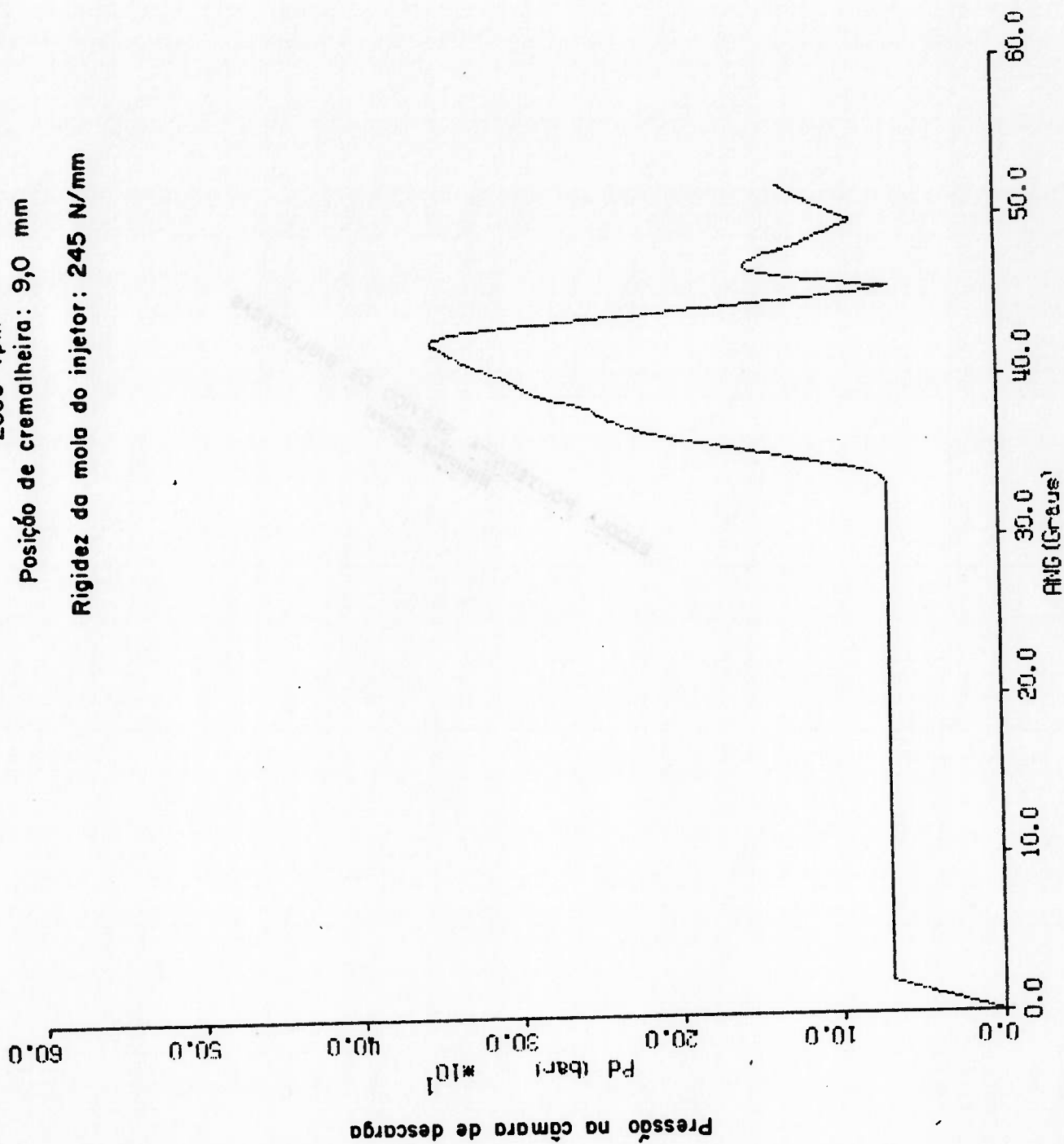


Figura 5.26

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm  
Rigidez da mola do injetor: 245 N/mm

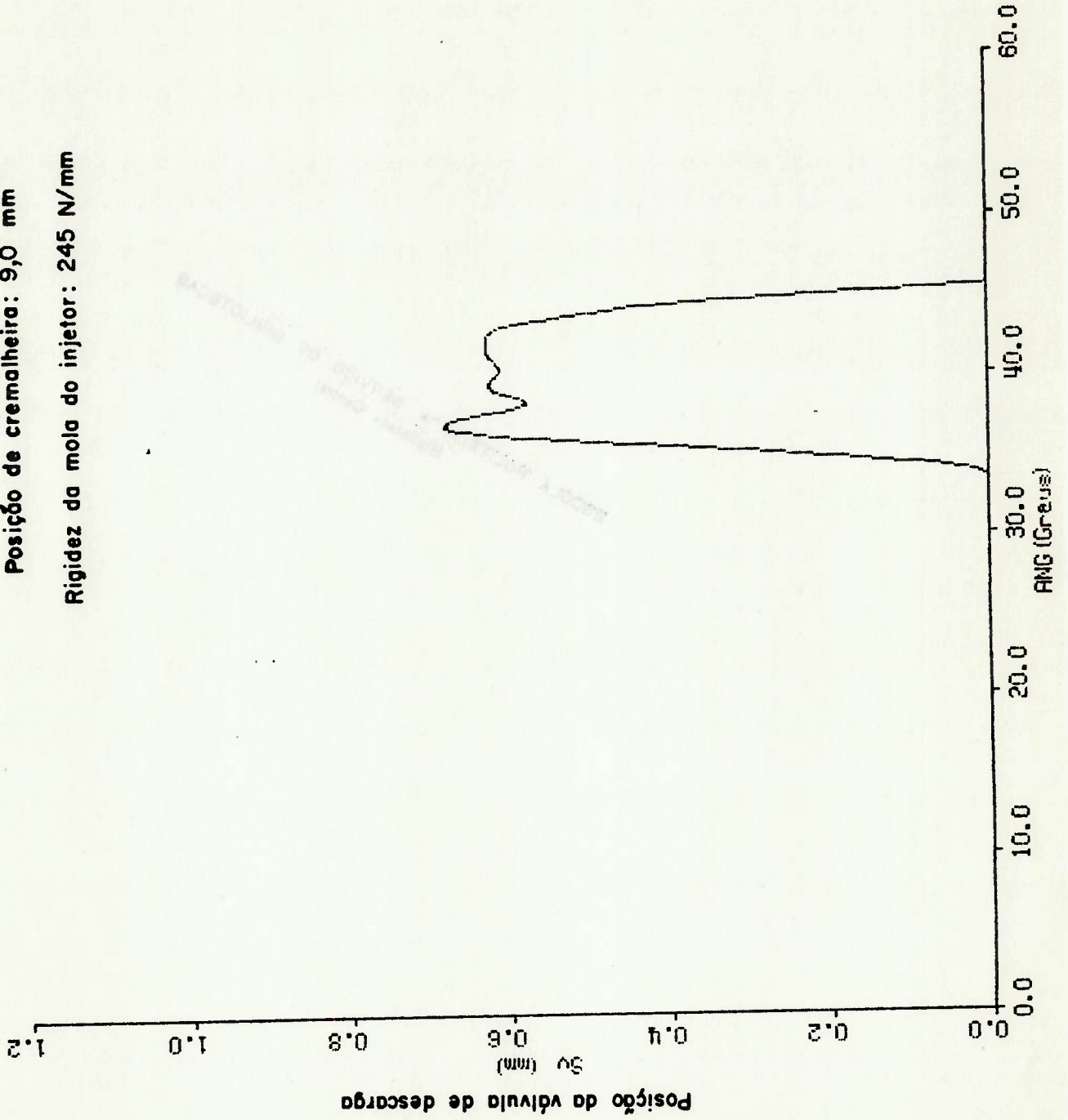


Figura 5.27



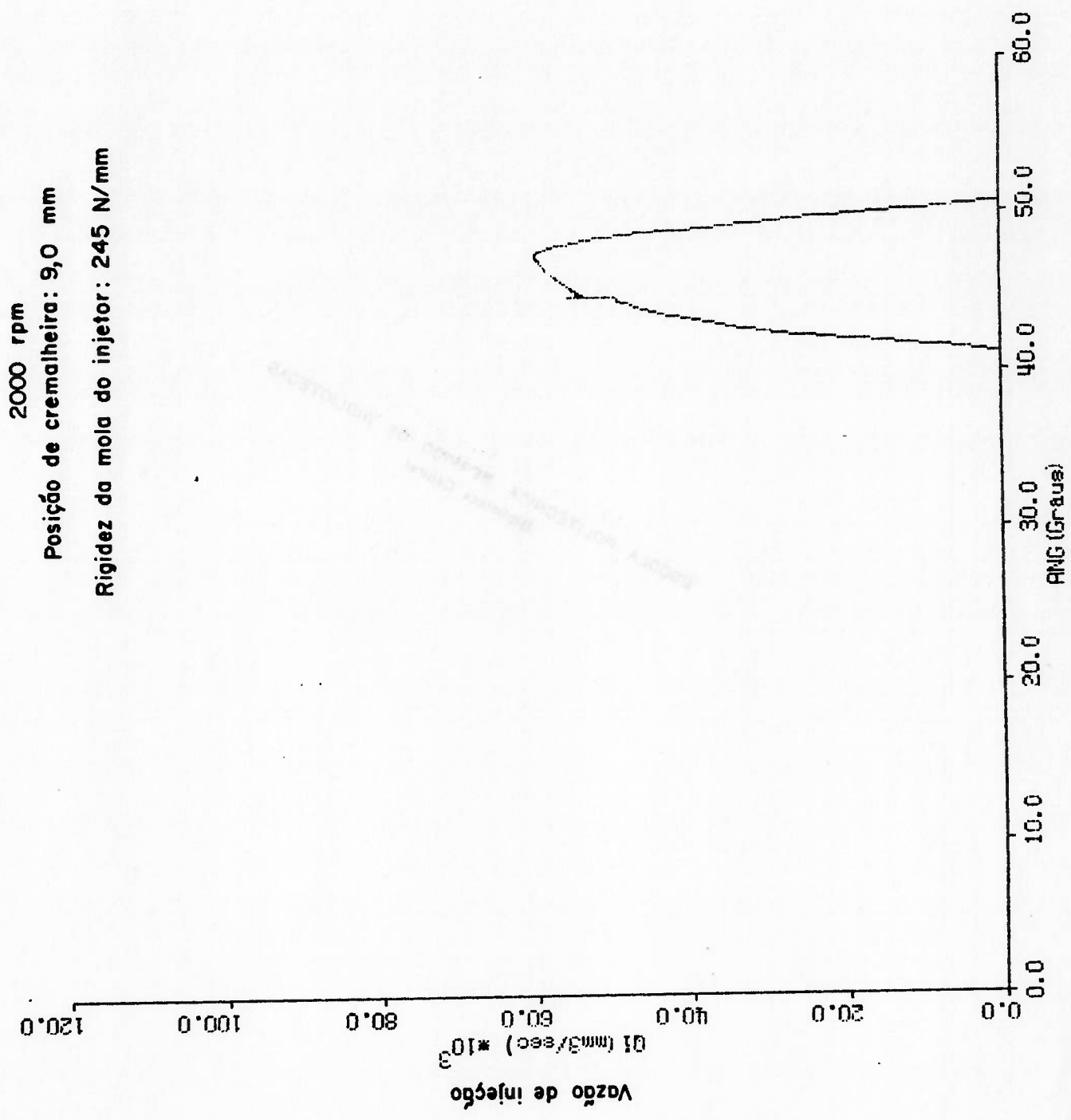


Figura 5.28

2000 rpm  
 Posição de cremalheira: 9,0 mm  
 Rigidez da mola do injetor: 245 N/mm

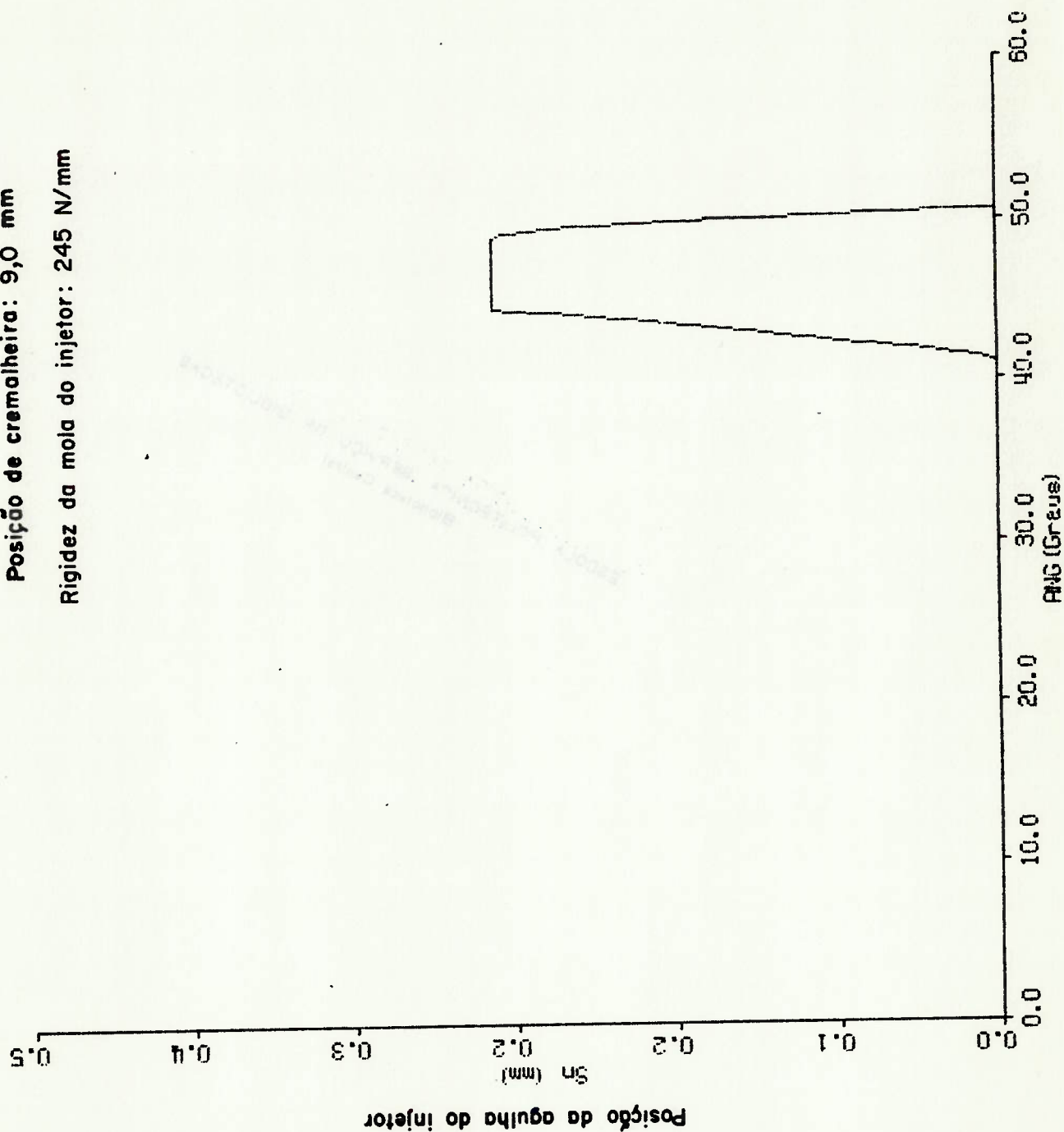


Figura 5.29

2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm  
Rigidez da mola do injetor: 245 N/mm

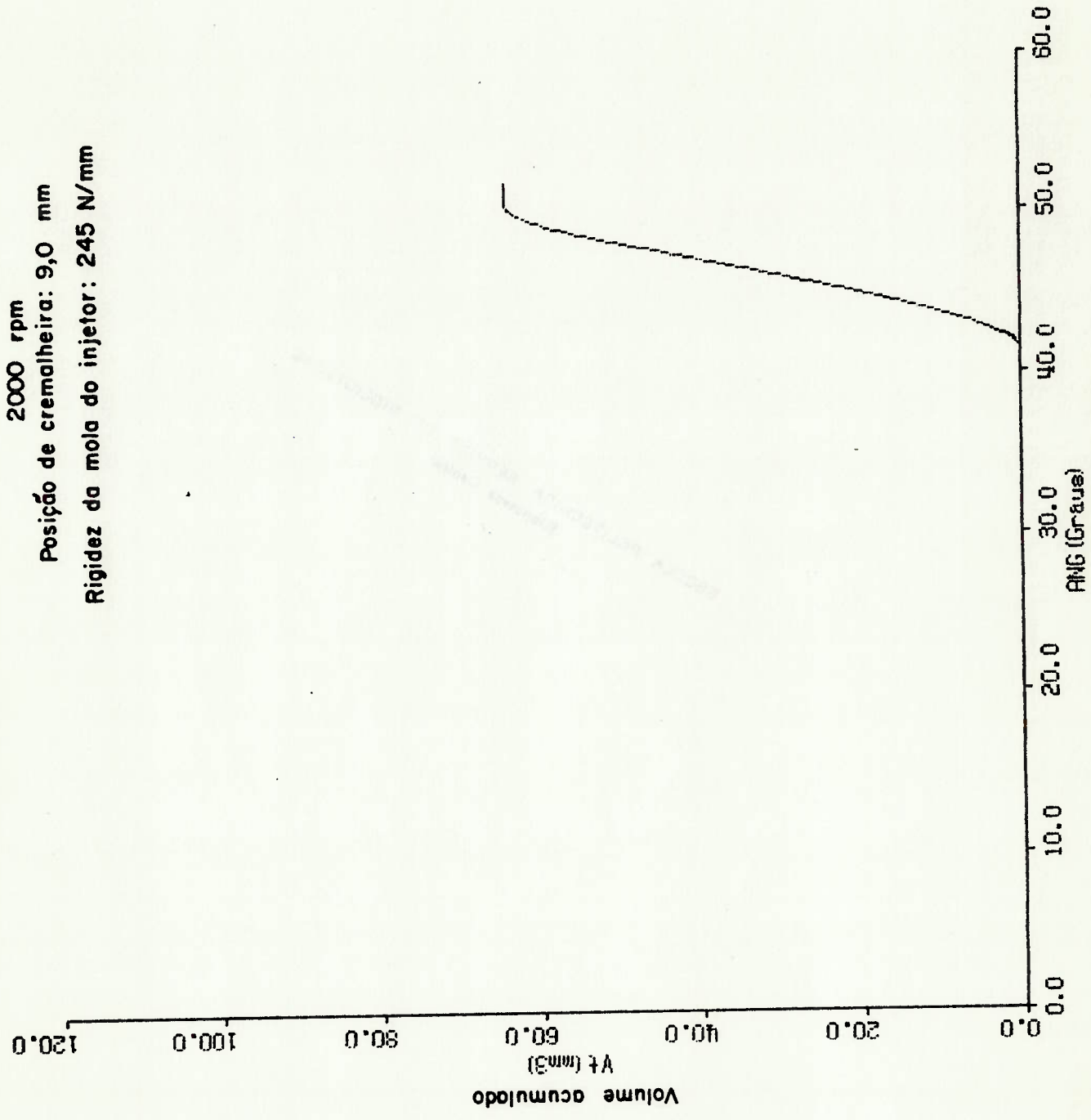


Figura 5.30

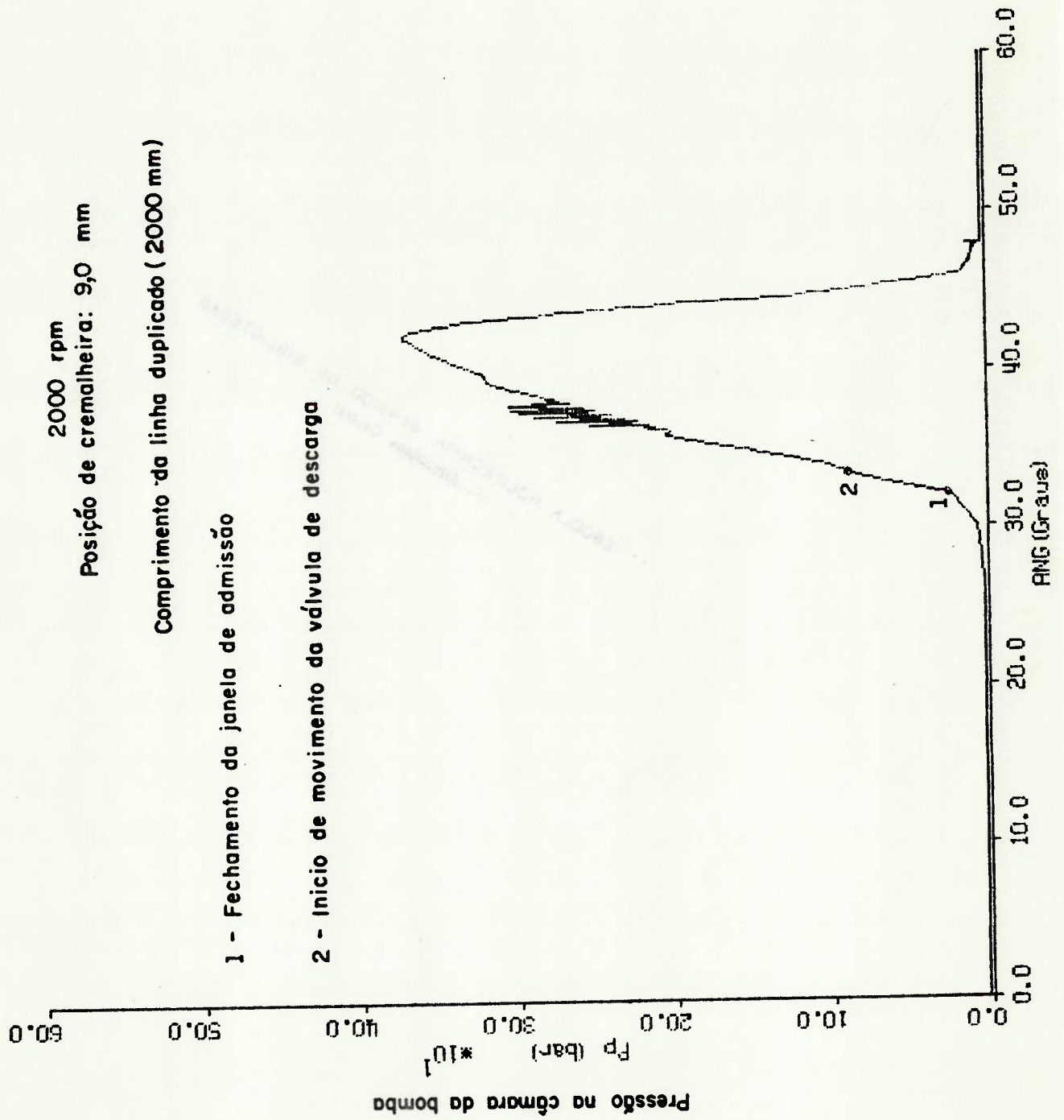


Figura 5.31



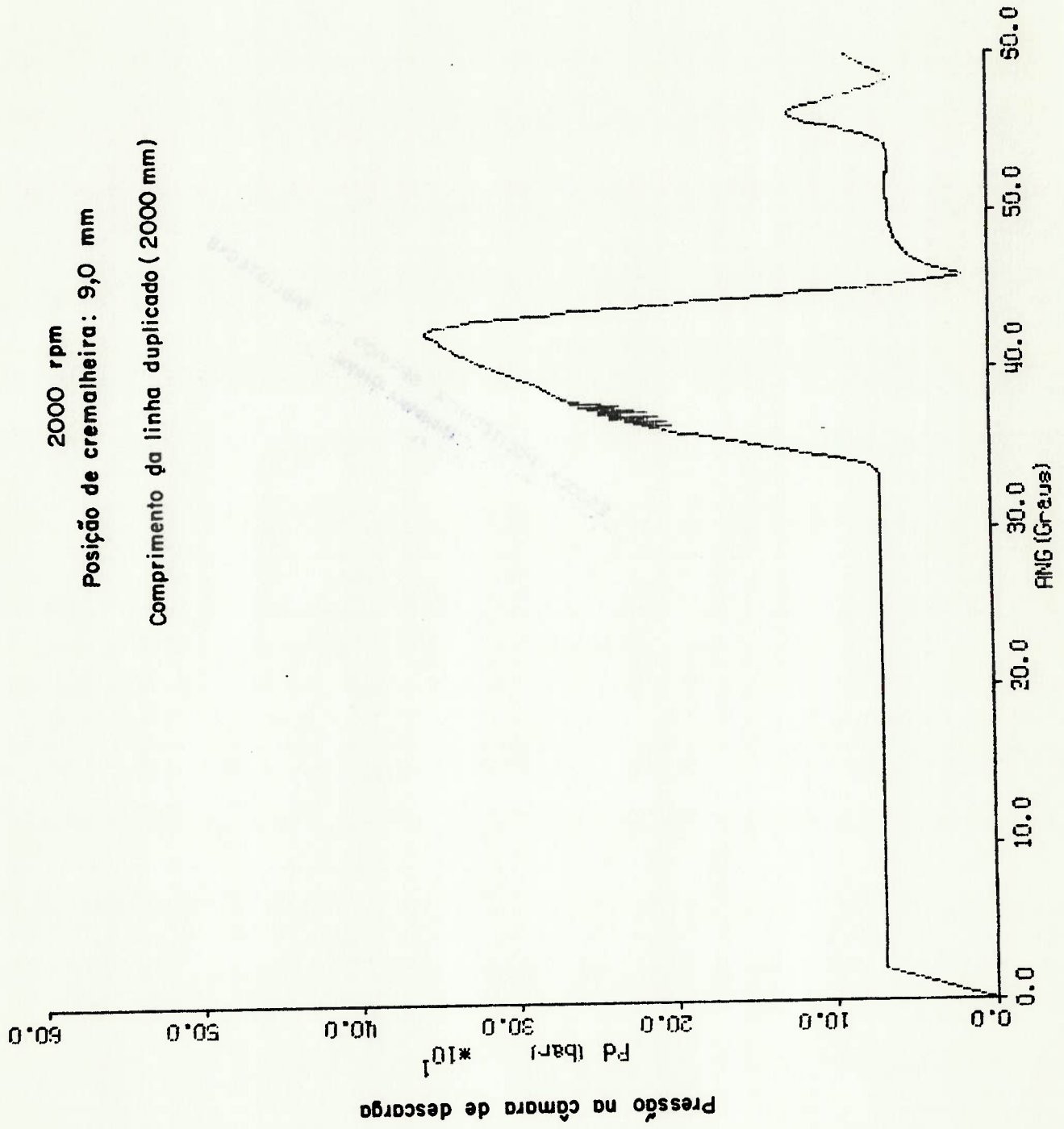


Figura 5.32

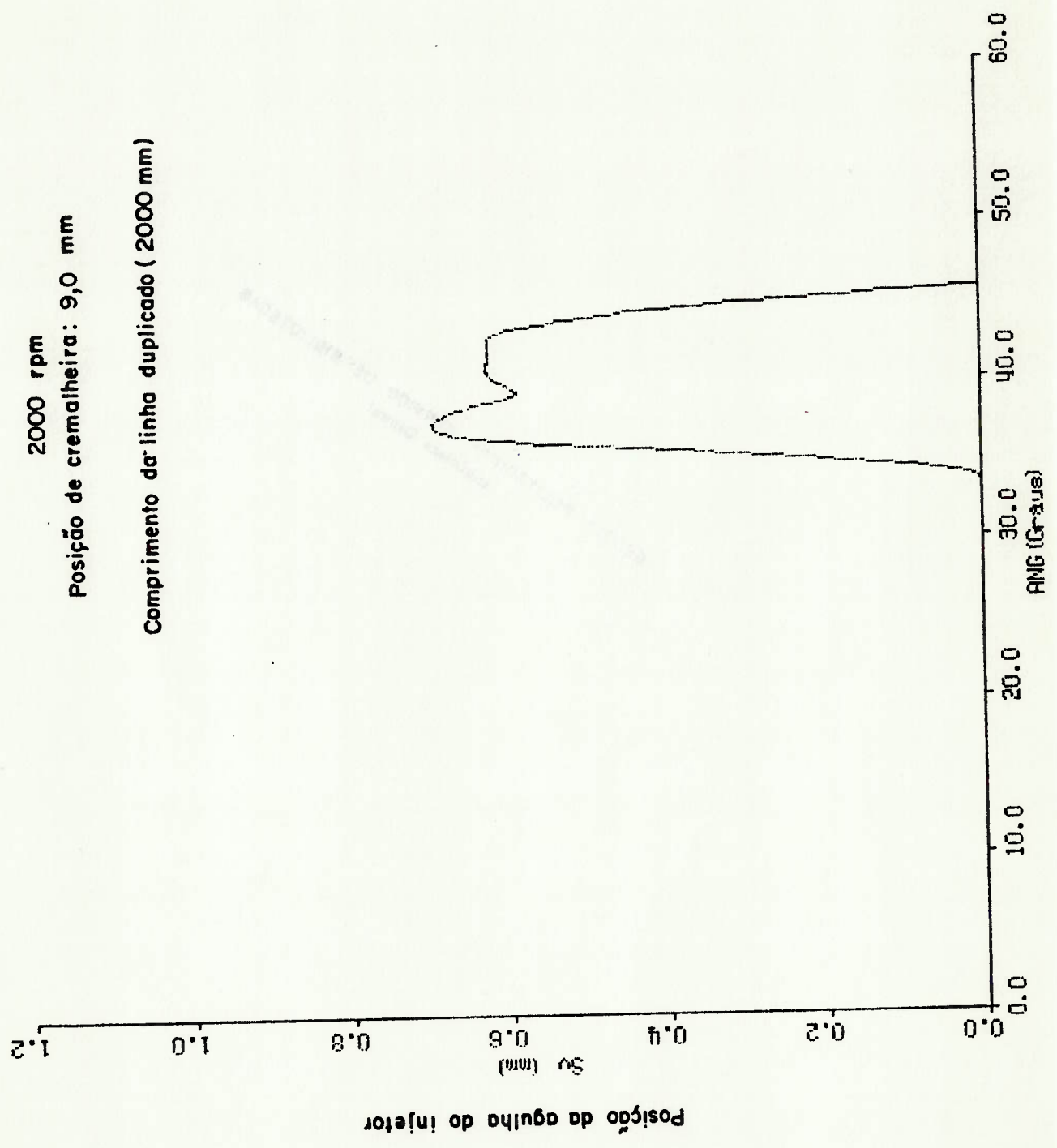


Figura 5.33

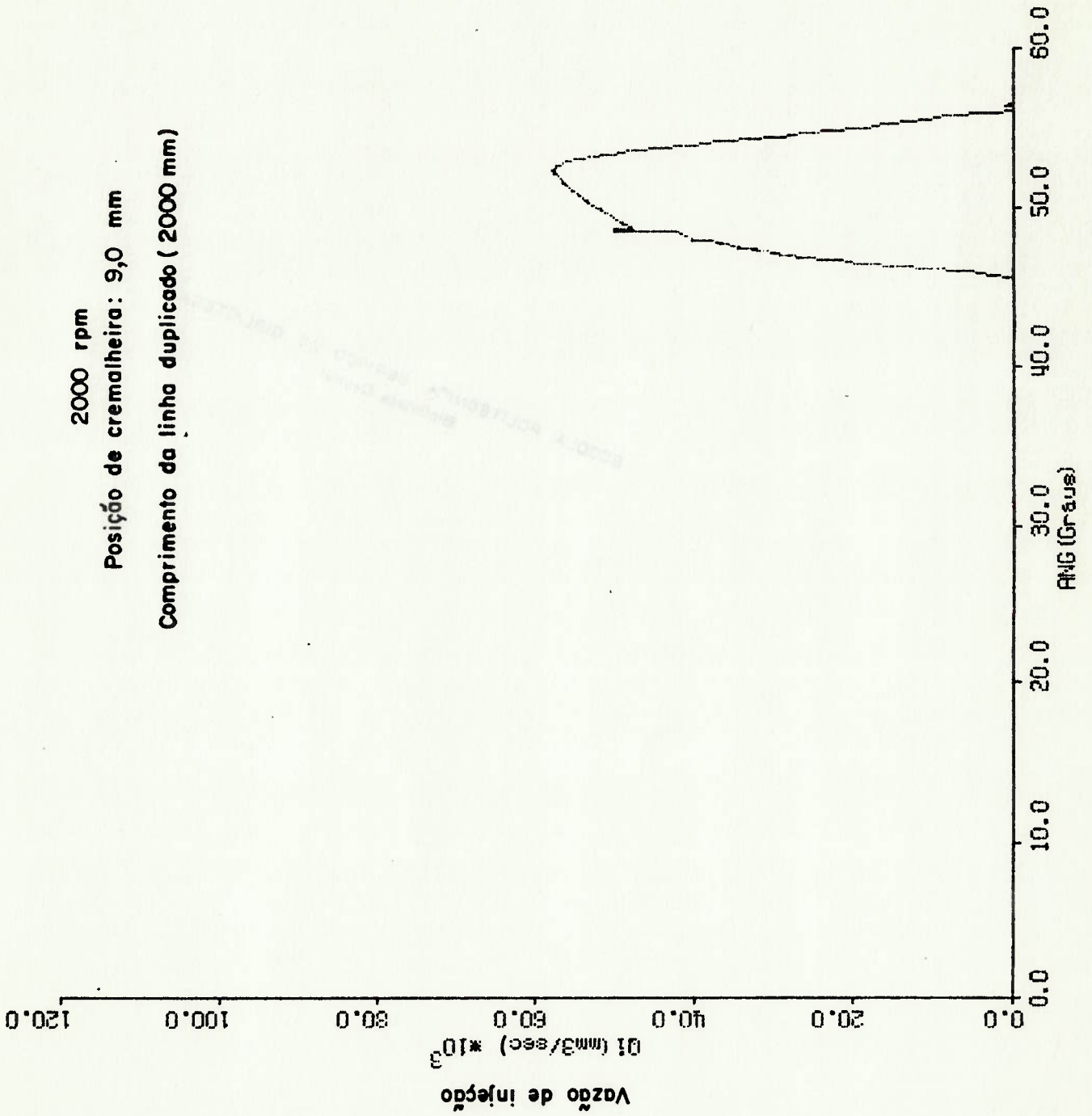


Figura 5.34

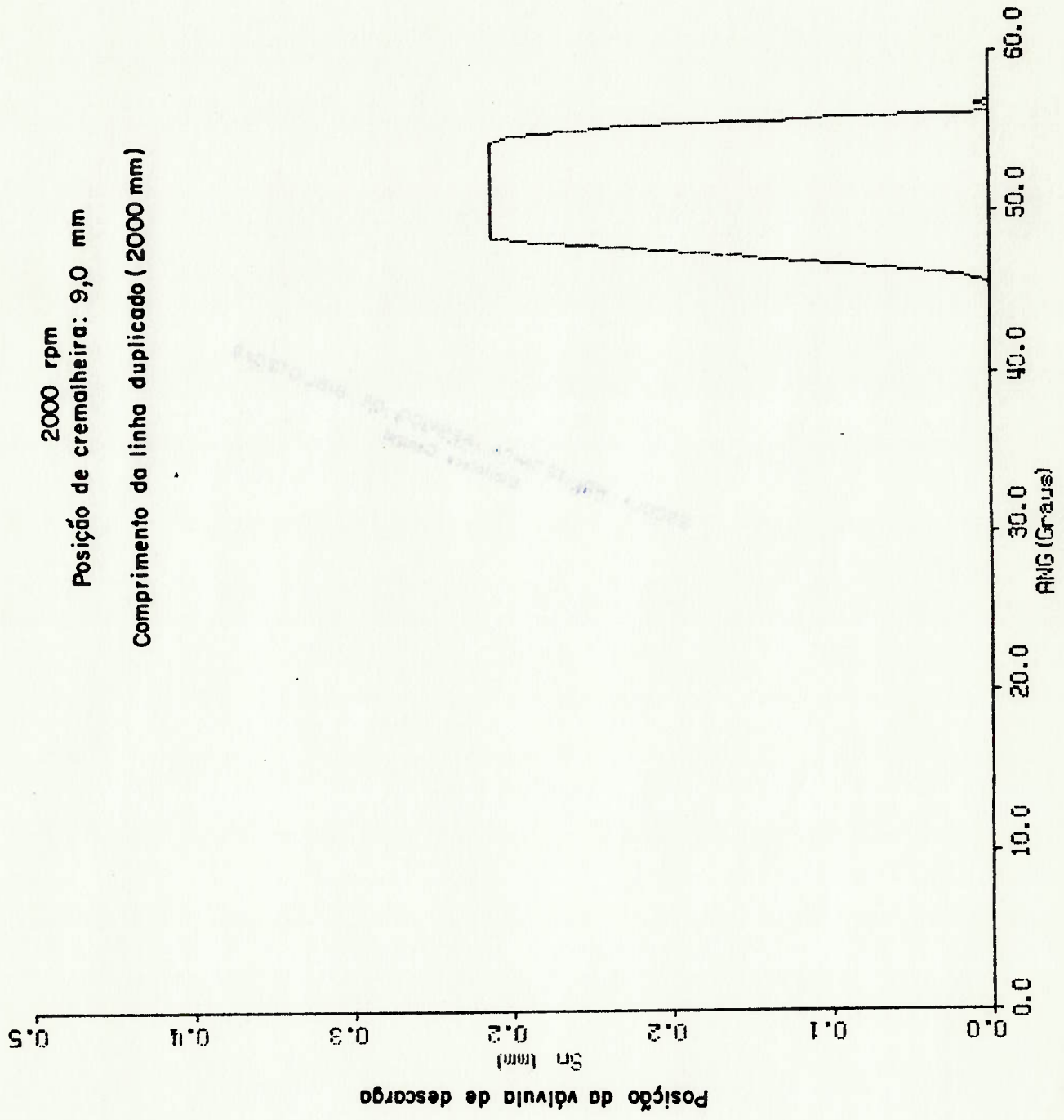


Figura 5.35



2000 rpm  
Posição de cremalheira: 9,0 mm

Comprimento da linha duplicado (2000 mm)

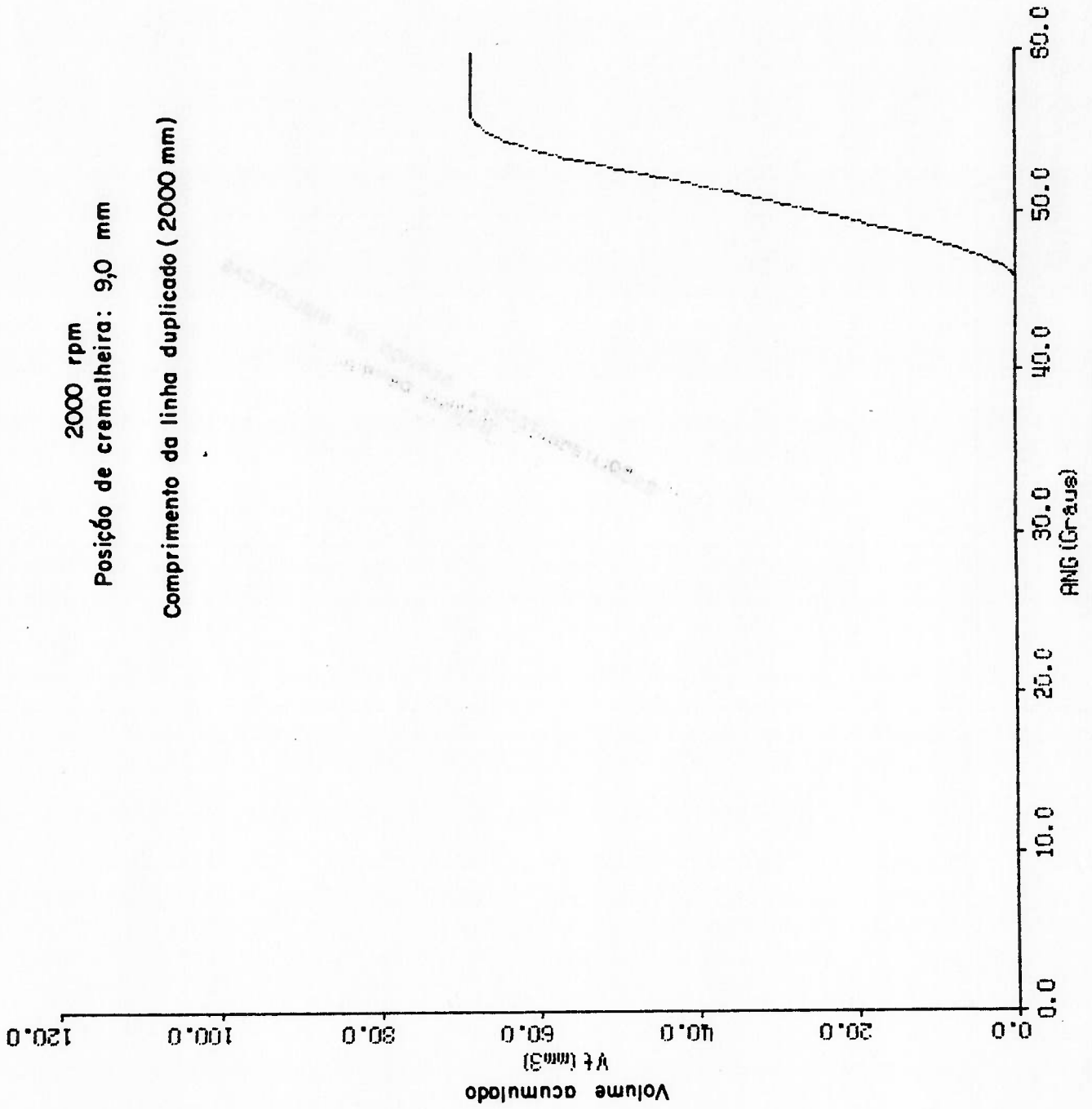


Figura 5.36

## 6- CONCLUSOES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O programa simulador, codificado a partir do modelo matemático desenvolvido, mostra ter sensibilidade suficiente para fornecer tendências de comportamento similares às obtidas através de experimentos quando se alteram os parâmetros físicos e/ou dimensões geométricas do sistema de injeção.

Essa característica mostra que a orientação inicial dada neste trabalho é correta, sendo possível se partir deste estágio nos desenvolvimentos futuros.

Nas próximas etapas de desenvolvimento deve-se incluir um modelo de cavitação no programa simulador. Esta iniciativa certamente aumentará sua robustez operacional e permitirá se fazer análises mais sofisticadas que considerem as fronteiras atuais do conhecimento sobre o processo de injeção.

Com a finalidade de aumentar a precisão dos resultados de simulação deve-se tomar cuidados especiais com a determinação dos valores dos parâmetros físicos e das grandezas geométricas dos componentes importantes do sistema como também com a especificação correta das propriedades físicas do combustível utilizado.

Os vazamentos de combustível nas folgas entre elementos do sistema com movimento relativo, assim como o efeito de esmagamento da película de óleo (squeeze film effect) durante o assentamento das válvulas, também devem ser considerados com o mesmo objetivo.

Um outro estudo que merece ser aprofundado é o da influência do escoamento transitório nos valores dos coeficientes de descarga em orifícios de passagem fixos e variáveis

A curto prazo pretende-se verificar a validade do modelo através de uma comparação direta dos resultados de ensaios realizados em bancada e resultantes de simulação. Várias providências já vêm sendo

tomadas no sentido de instrumentar o sistema de injeção e o motor que serviram como referências em várias etapas deste trabalho.

Numa perspectiva de mais longo prazo pode-se introduzir ainda os efeitos de um sistema de avanço de injeção e de regulador de velocidades para estudo de desempenho do sistema de injeção em regimes transientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ARKHANGELSKY, V.; KHOVAKH, M. Motor Vehicle Engines. Moscow, Mir Publishers, 1979.
- 2) NIGRO, F.E.B. ; TRIELLI, M.A. Determinação da Razão de Liberação de Calor durante a Combustão de ésteres de óleos Vegetais em Motores Diesel. Brasília, I Simpósio de Engenharia Automotiva (SIMEA), 1983.
- 3) RICARDO, H.R. The High-speed Internal-Combustion Engine. 4.ed. London, Blackie & son, 1964.
- 4) OBERT, E.F. Internal Combustion Engines. 3.ed. Scranton, International Textbook Company, 1968.
- 5) NIGRO, F.E.B.; Da SILVA, L.L.C. Estudo sobre a Liberação de Calor durante a Combustão em Motores Veiculares. Brasília, II Simpósio de Engenharia Automotiva (SIMEA), 1985.
- 6) BURMAN, P.G.; DeLuca, F. Fuel Injection and Controls for Internal Combustion Engines. New York, Simmons-Boardman Publishing Co., 1962.
- 7) GIFFEN, E.; ROW, A.W. Pressure Calculations for Oil Engine Fuel-Injection System. Proceedings of Institute of Mechanical Engineers, 1939, v.141, p.519.
- 8) NOTZ, H.W. Beitrag zur experimentellen Ermittlung des Einspritzverlaufs am schnellaufenden Dieselmotor. Technischen Universität Munchen, dezember 1986.
- 9) KNIGHT, B.E. Fuel-Injection System Calculations. Proceedings of Institute of Mechanical Engineers (A.D.), 1960-1961, v.1, p. 25-33.
- 10) BECCHI, G.A. The Analytical Investigation of Phenomena Concerning the Fuel Injection in Fast Diesel Engines, Carried out Design Stage by Means of the Electronic Computer. Technical Bulletin, Fiat, april 1962, v.XV, n.2



- 11) BROWN, G.W.; McCALLION, H. Simulation of an Injection System with Delivery Pipe Cavitation Using a Digital Computer. Proceedings of Institute of Mechanical Engineers, 1967-1968, v.182, p.206
- 12) BECCHI, G.A. Analytical Simulation of Fuel Injection in Diesel Engines. SAE Transaction, 1971, p.1825-1854.
- 13) Van WALWIJK, E.; Van der GRAAF, R.; JANSEN, J.K.M. Berekening Van brandstofinspuitsystemen Voor dieselmotoren. Werktuig-En Scheepsbouw, may 1969, p.95.
- 14) HENEIN, N.A.; SINGH, T.; EL-ERIAN, M.F. Characterization and Simulation of a Distributor Injection System. ASME Publication 74-DGP-12.
- 15) WYLIE, E.B.; BOLT, J.A.; EL-ERIAN, M.F. Diesel Fuel Injection System Simulation and Experimental Correlation. SAE Transaction, 1971, p.1855-1868.
- 16) MARCIC, M.; KOVACIC, Z. Computer Simulation of the Diesel Fuel Injection System. SAE Publication SP-630, 1985, p.25-41.
- 17) RALSTON, A. Numerical integration methods for the solution of ordinary differential equations, Mathematical Methods for Digital Computers, New York, Wiley & Sons, 1960, p.95-109.
- 18) WYLIE, E.B.; STREETER, V.L. Fluid Transients. New York, McGraw-Hill Book Co., 1978.
- 19) LISTER, M. The numerical solution of hyperbolic partial differential equations by the method of characteristics. Mathematical Methods for Digital Computers, New York, Wiley & Sons, 1960, p.165-179.
- 20) O'CONNOR, J.J.; BOYD, J. Standard Handbook of Lubrication Engineering. New York, McGraw-Hill Book Company, 1968, cap.12, p.11.
- 21) ROMANEHF, M.J. Runge-Kutta methods for the solution of ordinary differential equations. Mathematical Methods for Digital Computers, New York, 1960. Wiley & Sons, p.110-120.

- 22) MATSUOKA, S.; YOKOTA, K.; KAMIMOTO, T.; IGOSHI, M. A Study of Fuel Injection Systems in Diesel Engines. SAE Transactions, 1976, p.1863-1873
- 23) STREETER, V.L.; WYLIE, E.B., Hidraulic Transients. New York, McGraw-Hill Book Co., 1967.
- 24) ZUCKER, R.D. Fundamentals of Gas Dynamics. Matrix Publishers, 1977.
- 25) SHAPIRO, A.H. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow. New York, John Wiley & Sons, 1953.
- 26) BLEVINS, R.D., Applied Fluid Dynamics Handbook. New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
- 27) McCONKEY, A.; HULTON, L. Diesel Injection Simulation. Automobile Engineer, January 1971, p.43-47.
- 28) STENNING, A.H.; SHEARER, J.L. Fundamentals of Fluid Flow. Massachusetts, The M.I.T. Press, 1972.
- 29) VOGEL, W. Simulation von Einspritzvorgängen auf einem digitalen Kleinrechner. Motortechnische Zeitschrift (MTZ) 35, 9-1974, p.282-287.
- 30) MELCHER, K. Pionnering patents in the field of fuel injection for diesel engines. Bosch Technische Berichte, 1978, v.6, n.2, p.4-14.
- 31) YAMAOKA, K.; SAITO, A. Computer Technique for Evaluation of Cavitation Characteristics of Certain Phases of Fuel Injection in Fuel Injection System. SAE Transaction, 1973, p.2347-2363.
- 32) FISCHINGER, R.; STASKA, G.; GAO, Z. Calculation of the Injection Rate Curve of Diesel Injection System under Cavitation Conditions. MTZ 44, 11-1983, p.423-426.

ANEXO I

A avaliação do tempo de relaxação do volume de um reservatório pressurizado como o da Figura I.1 abaixo,

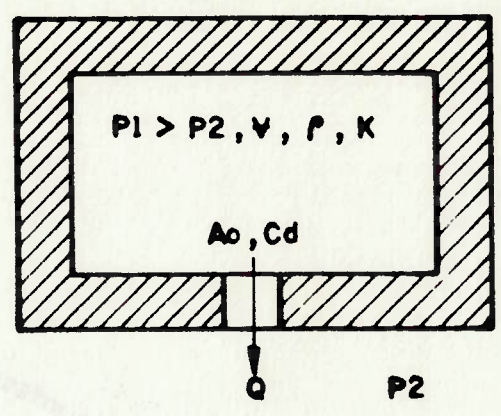


Figura I.1 - Modelo de reservatório utilizado.

pode ser feita como segue:

$$\frac{dP1}{dt} = - \frac{K}{V} \frac{dV}{dt} = - \frac{K}{V} Q \quad \text{com } Q = Cd A_o \sqrt{\frac{2(P1 - P2)}{\rho}}$$

ou,

$$\frac{dP1}{\sqrt{(P1 - P2)}} = - \left( \frac{K}{V} Cd A_o \sqrt{\frac{2}{\rho}} \right) dt$$

Fazendo  $C1 = \frac{K}{V} Cd A_o \sqrt{\frac{2}{\rho}}$  e  $p = P1 - P2$  temos:

$$dp = dP1 - dP2 = dP1$$

e

$$\frac{dP1}{\sqrt{(P1 - P2)}} = \frac{dp}{\sqrt{p}} = -C1 dt$$

Portanto:

$$\int_{p_0}^p p^{-1/2} dp = -C1 \int_0^t dt$$

onde:  $p_0 = (P1)_0 - P2$



Daí:

$$2(p^{1/2} - p_0^{1/2}) = -C_1 t$$

Portanto:

$$2(\sqrt{p} - \sqrt{p_0}) = \frac{K}{\Psi} C_d A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} t$$

ou seja,

$$\frac{K}{\Psi} C_d A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}} = \frac{2 \sqrt{p_0}}{\tau}$$

pois  $p=0$  para  $t=\tau$  de onde se obtém

$$\tau = \frac{2\Psi p_0}{K \times Q'}$$

com

$$Q' = C_d A_0 \sqrt{\frac{2p_0}{\rho}}$$

Aplicando a equação acima para valores característicos das grandezas relacionadas em sistemas de injeção reais, por exemplo, da câmara de injeção, a saber:

$$\Psi = 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$p_0 = 300 \text{ bar}$$

$$K = 1,2 \times 10^4 \text{ bar}$$

$$Q' = 3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

obtem-se:

$$\tau = 2\mu\text{s}$$

Observa-se que esse tempo corresponde, na melhor das hipóteses (rotação máxima do motor), a um intervalo angular de aproximadamente  $0,02$  graus de ângulo de camo que corresponde a valores muito menores que os considerados representativos do fenômeno de injeção. Desse modo, ignora-se a compressibilidade do fluido em volumes pequenos como os existentes nas câmaras do injetor.



Essa simplificação assegura que a solução numérica do conjunto de equações do sistema não apresente problemas de estabilidade quando se utiliza passos de integração coerentes com a duração típica de uma injeção.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN FÍSICA

**ANEXO II**

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

e# Source Line

```

1 $DEBUG
2 $DECLARE
3 C #####
4 C   PROGRAMA PARA A SIMULACAO DE UM SISTEMA DE INJECAO DIESEL
5 C #####
6
7     character*80 regis
8     character*16 narq
9     integer      edi,
10    &            i,
11    &            op,
12    &            point (20,2)
13
14     common/area5/ point
15
16 C --> regis      : variavel armazenando registro com 80 caracteres
17 C --> narq      : variavel contendo o nome do arquivo de trabalho
18 C --> edi       : (1) se ocorre edicao do arquivo de trabalho
19 C               : (0) em caso contrario
20 C --> op        : opcao escolhida no menu
21
22 C --> A:\DINJSYS: ARQUIVO DESCREVENDO O SISTEMA DE INJECAO "PADRAO"
23
24     open (unit=1,file='a:\dinjsys.dat',access='sequential',
25    &      status='old',form='formatted')
26
27 C --> ARQUIVO (DE TRABALHO) DESCREVENDO O SISTEMA DE INJECAO REAL
28
29     write(*,'(A\)' ) ' Nome do arquivo de trabalho ?'
30     read(*,'(A)' ) narq
31     open (unit=2,file=narq,access='direct',recl=79,status='unknown',
32    &      form='formatted')
33
34 C --> COPIA O ARQUIVO "DEFAULT" PARA O ARQUIVO DE TRABALHO
35
36 1     continue
37     read(1,100,END=1000) regis
38 100    format(A79)
39     write(2,100) regis
40     goto 1
41 1000  continue
42
43 C --> APRESENTACAO DO MENU PRINCIPAL
44
45     edi= 0
46 2     continue
47     call menu(point(1,1),point(1,2),op)
48     goto (3,4,5) op
49
50 C --> EDICAO DO ARQUIVO DE TRABALHO
51
52 3     continue
53     call ediarq
54     edi= 1
55     goto 2
56
57 C --> SIMULACAO
58

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

59 4      continue
60      call atisim(edi)
61      goto 2
62
63 C --> ENCERRAMENTO
64
65 5      stop
66      end

```

main Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
EUI	local	INTEGER*4	4	0002
D	local	INTEGER*4	4	0006
N RQ	local	CHAR*16	16	000a
REGIS	local	CHAR*80	80	001a
POINT	AREA5	INTEGER*4	160	0000

```

67
68 C -----
69
70      block data
71
72 C --> INICIALIZACAO DAS MENSAGENS DOS MENUS
73

```

```

74      character*45 menscm(2),
75      &      menspr(220),
76      &      datreq(150),
77      &      daterr(10)
78
79      integer      point (20,2),
80      &      ptrec (20),
81      &      ptmens(20)
82

```

```

83      common/area1/ menscm
84      common/area2/ menspr
85      common/area3/ datreq
86      common/area4/ daterr
87      common/area5/ point
88      common/area6/ ptrec
89      common/area7/ ptmens
90

```

```

91 C --> menscm      : mensagens comuns a varios menus
92 C --> menspr     : mensagens particulares a cada menu
93 C --> datreq    : mensagens solicitando entrada de dados
94 C --> daterr    : mensagens de erro na entrada de dados
95 C --> point     : indices-limite dos menus
96

```

```

97      data menscm(1) /'      --->digite opcao      '/'
98      data menscm(2) /'      --->opcao invalida    '/'
99
100     data menspr(1) /'Menu Principal: OPCOES EXISTENTES '/'
101     data menspr(2) /'      (1) Edicao do arquivo de trabalho '/'
102     data menspr(3) /'      (2) Simulacao do sistema de injecao '/'
103     data menspr(4) /'      (3) Encerramento      '/'
104

```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
105 data menspr(11) // 'Edicao do Arq. de Trabalho: OPCOES EXISTENTES' //
106 data menspr(12) // (1) Bomba injetora //
107 data menspr(13) // (2) Linha de injecao //
108 data menspr(14) // (3) Bico injetor //
109 data menspr(15) // (4) Combustivel //
110 data menspr(16) // (5) Retorno para o menu principal //
111 // //
112 data menspr(21) // 'Bomba injetora: OPCOES EXISTENTES' //
113 data menspr(22) // (1) Bomba de transferencia //
114 data menspr(23) // (2) Camaras e orificios de passagem //
115 data menspr(24) // (3) Camo //
116 data menspr(25) // (4) Elemento dosador //
117 data menspr(26) // (5) Valvula de descarga //
118 data menspr(27) // (6) Valvula reguladora de pressao //
119 data menspr(28) // (7) Retorno ao menu "Edicao" //
120 // //
121 data menspr(41) // 'Bomba de transferencia: OPCOES EXISTENTES' //
122 data menspr(42) // (1) Vazao x Rotacao //
123 data menspr(43) // (2) Apresentacao dos valores atuais //
124 data menspr(44) // (3) Retorno ao menu "Bomba injetora" //
125 // //
126 data menspr(51) // 'Camaras e orificios: OPCOES EXISTENTES' //
127 data menspr(52) // (1) Volume da galeria da bomba //
128 data menspr(53) // (2) Numero de elementos dosadores //
129 data menspr(54) // (3) Volume maximo da camara da bomba //
130 data menspr(55) // (4) Volume maximo da camara de descarga //
131 data menspr(56) // (5) Diametro do orificio do filtro //
132 data menspr(57) // (6) Apresentacao dos valores atuais //
133 data menspr(58) // (7) Retorno ao menu "Bomba injetora" //
134 // //
135 data menspr(71) // 'Camo: OPCOES EXISTENTES' //
136 data menspr(72) // (1) Sp x ang. de manivela (polinomio) //
137 data menspr(73) // (2) Sp x ang. de manivela (arquivo) //
138 data menspr(74) // (3) Apresentacao dos valores atuais //
139 data menspr(75) // (4) Retorno ao menu "Bomba injetora" //
140 // //
141 data menspr(81) // 'Elemento dosador: OPCOES EXISTENTES' //
142 data menspr(82) // (1) Diametro externo do pistao //
143 data menspr(83) // (2) Diametro da janela de admissao //
144 data menspr(84) // (3) Pre-curso //
145 data menspr(85) // (4) Curso efetivo minimo de dosagem //
146 data menspr(86) // (5) Curso efetivo maximo de dosagem //
147 data menspr(87) // (6) Angulo de helice //
148 data menspr(88) // (7) Deslocamento minimo da cremalheira //
149 data menspr(89) // (8) Deslocamento maximo da cremalheira //
150 data menspr(90) // (9) Apresentacao dos valores atuais //
151 data menspr(91) // (10) Retorno ao menu "Bomba injetora" //
152 // //
153 data menspr(101) // 'Valvula de descarga: OPCOES EXISTENTES' //
154 data menspr(102) // (1) Massa da valvula //
155 data menspr(103) // (2) Massa da mola da valvula //
156 data menspr(104) // (3) Constante elastica da mola //
157 data menspr(105) // (4) Pre-carga da mola //
158 data menspr(106) // (5) Area projetada inferior //
159 data menspr(107) // (6) Area projetada superior //
160 data menspr(108) // (7) Apresentacao dos valores atuais //
161 data menspr(109) // (8) Retorno ao menu "Bomba injetora" //
162 // //

```

## Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
163 data menspr(121) // 'Valvula reguladora: OPCOES EXISTENTES //
164 data menspr(122) // (1) Constante elastica da mola //
165 data menspr(123) // (2) Diametro de entrada //
166 data menspr(124) // (3) Pre-curso da mola //
167 data menspr(125) // (4) Apresentacao dos valores atuais //
168 data menspr(126) // (5) Retorno ao menu "Bomba injetora" //
169
170 data menspr(131) // 'Linha de injecao: OPCOES EXISTENTES //
171 data menspr(132) // (1) Diametro interno //
172 data menspr(133) // (2) Comprimento //
173 data menspr(134) // (3) Rugosidade equivalente //
174 data menspr(135) // (4) Apresentacao dos valores atuais //
175 data menspr(136) // (5) Retorno ao menu "Edicao" //
176
177 data menspr(141) // 'Bico injetor: OPCOES EXISTENTES //
178 data menspr(142) // (1) Camaras e orificios de passagem //
179 data menspr(143) // (2) Valvula de agulha //
180 data menspr(144) // (3) Camara de combustao //
181 data menspr(145) // (4) Retorno ao menu "Edicao" //
182
183 data menspr(151) // 'Camaras e orificios: OPCOES EXISTENTES //
184 data menspr(152) // (1) Volume morto da camara de injecao //
185 data menspr(153) // (2) Volume morto da camara inferior //
186 data menspr(154) // (3) Volume morto da camara superior //
187 data menspr(155) // (4) Diametro dos orificios do injetor //
188 data menspr(156) // (5) Apresentacao dos valores atuais //
189 data menspr(157) // (6) Retorno ao menu "Bico injetor" //
190
191 data menspr(171) // 'Valvula de agulha: OPCOES EXISTENTES //
192 data menspr(172) // (1) Massa da agulha //
193 data menspr(173) // (2) Massa da mola //
194 data menspr(174) // (3) Constante elastica da mola //
195 data menspr(175) // (4) Pre-carga na mola //
196 data menspr(176) // (5) Geometria da valvula //
197 data menspr(177) // (6) Apresentacao dos valores atuais //
198 data menspr(178) // (7) Retorno ao menu "Bico injetor" //
199
200 data menspr(191) // 'Geometria da valvula: OPCOES EXISTENTES //
201 data menspr(192) // (1) Perfil //
202 data menspr(193) // (2) Apresentacao do perfil atual //
203 data menspr(194) // (3) Retorno ao menu "Valvula de agulha" //
204
205 data menspr(201) // 'Camara de combustao: OPCOES EXISTENTES //
206 data menspr(202) // (1) Pressao x ang. do motor (polinomio) //
207 data menspr(203) // (2) Pressao x ang. do motor (arquivo) //
208 data menspr(204) // (3) Apresentacao dos valores atuais //
209 data menspr(205) // (4) Retorno ao menu "Bico injetor" //
210
211 data menspr(211) // 'Combustivel: OPCOES EXISTENTES //
212 data menspr(212) // (1) "Bulk modulus" X pressao //
213 data menspr(213) // (2) Viscosidade cinematica X pressao //
214 data menspr(214) // (3) Apresentacao das funcoes atuais //
215 data menspr(215) // (4) Retorno ao menu "Edicao" //
216
217 data point (1,1) /1 /, point (1,2) /4 /
218 data point (2,1) /11 /, point (2,2) /16 /
219 data point (3,1) /21 /, point (3,2) /28 /
220 data point (4,1) /41 /, point (4,2) /44 /

```



```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

221 data point (5,1) /51 /, point (5,2) /58 /
222 data point (6,1) /71 /, point (6,2) /75 /
223 data point (7,1) /81 /, point (7,2) /91 /
224 data point (8,1) /101/, point (8,2) /109/
225 data point (9,1) /121/, point (9,2) /126/
226 data point (10,1) /131/, point(10,2) /136/
227 data point (11,1) /141/, point(11,2) /145/
228 data point (12,1) /151/, point(12,2) /157/
229 data point (13,1) /171/, point(13,2) /178/
230 data point (14,1) /191/, point(14,2) /194/
231 data point (15,1) /201/, point(15,2) /205/
232 data point (16,1) /211/, point(16,2) /215/
233
234 data pttrec (1 ) /5 /
235 data pttrec (2 ) /12 /
236 data pttrec (3 ) /22 /
237 data pttrec (4 ) /29 /
238 data pttrec (5 ) /42 /
239 data pttrec (6 ) /52 /
240 data pttrec (7 ) /62 /
241 data pttrec (8 ) /73 /
242 data pttrec (9 ) /82 /
243 data pttrec (10) /92 /
244 data pttrec (11) /102/
245
246 data ptmens (1) /1 /
247 data ptmens (2) /11 /
248 data ptmens (3) /21 /
249 data ptmens (4) /31 /
250 data ptmens (5) /41 /
251 data ptmens (6) /51 /
252 data ptmens (7) /61 /
253 data ptmens (8) /71 /
254 data ptmens (9) /81 /
255 data ptmens (10) /101/
256 data ptmens (11) /111/
257
258 data daterr(1) /' <inteiro invalido> //
259 data daterr(2) /' <real invalido> //
260 data daterr(3) /' <valor negativo> //
261 data daterr(4) /' <vetor invalido> //
262 data daterr(5) /' <perfil invalido> //
263 data daterr(6) /' <rotacao invalida> //
264 data daterr(7) /' <incompatibilidade entre dados> //
265
266 data datreq(1) /'n. de polinomios Q(N) (Q=a+bN+cN2+dN3): //
267 data datreq(2) /'Ni,Nf,(rpm),a,b,c,d (m3/min): //
268
269 data datreq(11) /'volume da galeria (mm3) //
270 data datreq(12) /'numero de elementos dosadores //
271 data datreq(13) /'volume maximo da camara da bomba (mm3) //
272 data datreq(14) /'volume maximo da camara de descarga (mm3) //
273 data datreq(15) /'diametro do orificio do filtro (mm) //
274
275 data datreq(21) /'n. de polinomios S(x) x=angulo de manivela //
276 data datreq(22) /'xi,xf,(grau),a,b,c,d (cmm) //
277 data datreq(23) /'nome do arquivo com curva Sp x Ang. Maniv. //
278

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
279 data datreq(31) // 'diametro externo do pistao (mm) : //
280 data datreq(32) // 'diametro da janela de admissao (mm) : //
281 data datreq(33) // 'pre-curso (mm) : //
282 data datreq(34) // 'curso efetivo minimo de dosagem (mm) : //
283 data datreq(35) // 'curso efetivo maximo de dosagem (mm) : //
284 data datreq(36) // 'angulo de helice (graus) : //
285 data datreq(37) // 'deslocamento minimo da cremalheira (mm) : //
286 data datreq(38) // 'deslocamento maximo da cremalheira (mm) : //
287
288 data datreq(41) // 'massa da valvula (g) : //
289 data datreq(42) // 'massa da mola da valvula (g) : //
290 data datreq(43) // 'constante elastica da mola (kgf/mm) : //
291 data datreq(44) // 'pre-carga da mola (kgf) : //
292 data datreq(45) // 'area projetada inferior (mm2) : //
293 data datreq(46) // 'area projetada superior (mm2) : //
294
295 data datreq(51) // 'constante elastica da mola (kgf/mm) : //
296 data datreq(52) // 'diametro de entrada (mm) : //
297 data datreq(53) // 'diametro de saida (mm) : //
298
299 data datreq(61) // 'diametro interno (mm) : //
300 data datreq(62) // 'comprimento (mm) : //
301 data datreq(63) // 'rugosidade equivalente (mm) : //
302
303 data datreq(71) // 'volume morto da camara de injecao (mm3) : //
304 data datreq(72) // 'volume morto da camara inferior (mm3) : //
305 data datreq(73) // 'volume morto da camara superior (mm3) : //
306 data datreq(74) // 'diametro dos orificios do injetor (mm) : //
307
308 data datreq(81) // 'massa da agulha (g) : //
309 data datreq(82) // 'massa da mola (g) : //
310 data datreq(83) // 'constante elastica da mola (kgf/mm) : //
311 data datreq(84) // 'pre-carga na mola (kgf) : //
312 data datreq(85) // 'comprimento do cone inferior (mm) : //
313 data datreq(86) // 'diametro do cone inferior (mm) : //
314 data datreq(87) // 'comprimento do cone intermediario (mm) : //
315 data datreq(88) // 'diametro maior do cone intermediario (mm) : //
316 data datreq(89) // 'comprimento do cone superior (mm) : //
317 data datreq(90) // 'diametro maior do cone superior (mm) : //
318 data datreq(91) // 'comprimento do cilindro superior (mm) : //
319
320 data datreq(101) // 'n. de polinomios P(x) x=angulo do motor : //
321 data datreq(102) // 'xi,xf,(grau),a,b,c,d (bar) : //
322 data datreq(103) // 'nome do arquivo com curva P x Ang. Motor : //
323
324 data datreq(111) // 'n. de polinomios B(p) (B=a+bP+cP2+dP3) : //
325 data datreq(112) // 'pi,pf,(bar),a,b,c,d (bar) : //
326 data datreq(114) // 'n. de polinomios Ni(p) (Ni=a+bP+cP2+dP3) : //
327 data datreq(115) // 'pi,pf,(bar),a,b,c,d (m2/seg): : //
328
329 data datreq(130) // 'os dados da curva se encontram no arquivo : //
330 data datreq(131) // 'rotacao do motor (rpm) : //
331 data datreq(132) // 'posicao da cremalheira (mm) : //
332 data datreq(133) // 'intervalo angular de integracao : //
333 data datreq(134) // 'outra condicao de simulacao? (s/n) : //
334
335 end
336

```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

337 C -----
338
339      subroutine menu(i1,i2,op)
340
341 C --> ORGANIZA A APRESENTACAO DE MENUS NA TELA
342
343      integer i1,
344      &      i2,
345      &      op,
346      &      i,
347      &      n
348
349 C --> i1 : Indice da linha inicial do menu
350 C --> i2 : Indice da linha final do menu
351 C --> op : Opcao escolhida pelo usuario
352 C --> n  : Numero da ultima opcao no menu
353
354      character*45 menscm(2),
355      &          menspr(220)
356
357      common/area1/ menscm
358      common/area2/ menspr
359
360 100  format(1x,A45/)
361 101  format(1x,A45\ )
362
363      n= i2-i1
364 1    continue
365      write(6,100) (menspr(i),i=i1,i2)
366      write(6,101) menscm(1)
367      read(5,*,ERR=1000) op
368      if (op.lt.i.or.op.gt.n) goto 1000
369      return
370 1000 continue
371      write(6,100)menscm(2)
372      goto 1
373      end
  
```

MENU Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
D	param			0006
I	param			000a
I1	param			000e
I2	local	INTEGER*4	4	0072
K	local	INTEGER*4	4	0076
DATERR	AREA4	CHAR*45	450	0000
P.UINT	AREA5	INTEGER*4	160	0000
F.REC	AREA6	INTEGER*4	80	0000
R.MENS	AREA7	INTEGER*4	80	0000
MENSCH	AREA1	CHAR*45	90	0000
MENSPR	AREA2	CHAR*45	9900	0000
I.TREQ	AREA3	CHAR*45	6750	0000
MENSCH	AREA1	CHAR*45	90	0000
MENSPR	AREA2	CHAR*45	9900	0000

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line
374
375 C -----
376
377     subroutine ediarq
378
379 C --> EDICAO DO ARQUIVO DE TRABALHO
380
381     character*16 narq
382     integer      op,
383     &            i,
384     &            point (20,2),
385     &            ptrec (20),
386     &            ptmens(20)
387
388     common /area5/ point
389     common /area6/ ptrec
390     common /area7/ ptmens
391
392
393 C --> MENU DE EDICAO  ++++++ (nivel 1)
394
395 1     continue
396     call menu(point(2,1),point(2,2),op)
397     goto (2,3,4,5,6) op
398
399 C --> DADOS DA BOMBA INJETORA  ++++++ (nivel 2)
400
401 2     continue
402     call menu(point(3,1),point(3,2),op)
403     goto (21,22,23,24,25,26,27) op
404
405 C --> BOMBA DE TRANSFERENCIA  ++++++ (nivel 3)
406
407 21    continue
408     call menu(point(4,1),point(4,2),op)
409     goto (211,212,213) op
410
411 C --> CURVA DE VAZAO  ++++++ (nivel 4)
412
413 211   continue
414     call curva(ptrec(i),ptmens(i))
415     goto 21
416
417 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS  ++++++ (nivel 4)
418
419 212   continue
420     call disp(ptrec(i),ptrec(i)+5)
421     goto 21
422
423 C --> RETORNO AO MENU "BOMBA INJETORA"  ++++++ (nivel 4)
424
425 213   continue
426     goto 2
427
428 C --> CAMARAS E ORIFICIOS DE PASSAGEM  ++++++ (nivel 3)
429
430 22    continue
431     call menu(point(5,1),point(5,2),op)
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line  
432 goto (221,222,223,224,225,226,227) op  
433  
434 C --> VOLUME DA GALERIA DA BOMBA ++++++++ (nivel 4)  
435  
436 221 continue  
437 call legrav(2,ptmens(2),ptrec(2))  
438 goto 22  
439  
440 C --> NUMERO DE ELEMENTOS DOSADORES ++++++++ (nivel 4)  
441  
442 222 continue  
443 call legrav(1,ptmens(2)+1,ptrec(2)+1)  
444 goto 22  
445  
446 C --> VOLUME MAXIMO DA CAMARA DA BOMBA ++++++ (nivel 4)  
447  
448 223 continue  
449 call legrav(2,ptmens(2)+2,ptrec(2)+2)  
450 goto 22  
451  
452 C --> VOLUME MAXIMO DA CAMARA DE DESCARGA ++++ (nivel 4)  
453  
454 224 continue  
455 call legrav(2,ptmens(2)+3,ptrec(2)+3)  
456 goto 22  
457  
458 C --> DIAMETRO DO ORIFICIO DO FILTRO ++++++++ (nivel 4)  
459  
460 225 continue  
461 call legrav(2,ptmens(2)+4,ptrec(2)+4)  
462 goto 22  
463  
464 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS ++++++++ (nivel 4)  
465  
466 226 continue  
467 call disp(ptrec(2),ptrec(2)+4)  
468 goto 22  
469  
470 C --> RETORNO AO MENU "CAMARAS E ORIFICIOS" ++ (nivel 4)  
471  
472 227 continue  
473 goto 2  
474  
475 C --> CAMO ++++++++ (nivel 3)  
476  
477 23 continue  
478 call menu(point(6,1),point(6,2),op)  
479 goto (231,232,233,234) op  
480  
481 C --> Sp X ANG. MANIVELA (POLINOMIOS) ++++++++ (nivel 4)  
482  
483 231 continue  
484 call curva(ptrec(3),ptmens(3))  
485 goto 23  
486  
487 C --> Sp X ANG. MANIVELA (ARQUIVO) ++++++++ (nivel 4)  
488  
489 232 continue
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line  
490      call arq(ptmens(3)+2,ptrec(3))  
491      goto 23  
492  
493 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS      ++++++++ (nivel 4)  
494  
495 233  continue  
496      call disp(ptrec(3),ptrec(3)+5)  
497      goto 23  
498  
499 C --> RETORNO AO MENU "BOMBA INJETORA"      ++++++++ (nivel 4)  
500  
501 234  continue  
502      goto 2  
503  
504 C --> ELEMENTO DOSADOR      ++++++++ (nivel 3)  
505  
506 24   continue  
507      call menu(point(7,1),point(7,2),op)  
508      goto (241,242,243,244,245,246,247,248,249,250) op  
509  
510 C --> DIAMETRO EXTERNO DO PISTAO      ++++++++ (nivel 4)  
511  
512 241  continue  
513      call legrav(2,ptmens(4),ptrec(4))  
514      goto 24  
515  
516 C --> DIAMETRO DA JANELA DE ADMISSAO      ++++++++ (nivel 4)  
517  
518 242  continue  
519      call legrav(2,ptmens(4)+1,ptrec(4)+1)  
520      goto 24  
521  
522 C --> PRE-CURSO      ++++++++ (nivel 4)  
523  
524 243  continue  
525      call legrav(2,ptmens(4)+2,ptrec(4)+2)  
526      goto 24  
527  
528 C --> CURSO EFETIVO MINIMO DE DOSAGEM      ++++++++ (nivel 4)  
529  
530 244  continue  
531      call legrav(2,ptmens(4)+3,ptrec(4)+3)  
532      goto 24  
533  
534 C --> CURSO EFETIVO MAXIMO DE DOSAGEM      ++++++++ (nivel 4)  
535  
536 245  continue  
537      call legrav(2,ptmens(4)+4,ptrec(4)+4)  
538      goto 24  
539  
540 C --> ANGULO DA HELICE      ++++++++ (nivel 4)  
541  
542 246  continue  
543      call legrav(2,ptmens(4)+5,ptrec(4)+5)  
544      goto 24  
545  
546 C --> DESLOCAMENTO MINIMO DA CREMALHEIRA      ++++++ (nivel 4)  
547
```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line  
548 247 continue  
549      call legrav(2,ptmens(4)+6,ptrec(4)+6)  
550      goto 24  
551  
552 C --> DESLOCAMENTO MAXIMO DA CREMALHEIRA      +++++ (nivel 4)  
553  
554 248 continue  
555      call legrav(2,ptmens(4)+7,ptrec(4)+7)  
556      goto 24  
557  
558 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS      ++++++++ (nivel 4)  
559  
560 249 continue  
561      call disp(ptrec(4),ptrec(4)+7)  
562      goto 24  
563  
564 C --> RETORNO AO MENU "BOMBA INJETORA"      ++++++++ (nivel 4)  
565  
566 250 continue  
567      goto 2  
568  
569 C --> VALVULA DE DESCARGA      ++++++++ (nivel 3)  
570  
571 25 continue  
572      call menu(point(8,1),point(8,2),op)  
573      goto (251,252,253,254,255,256,257,258) op  
574  
575 C --> MASSA DA VALVULA      ++++++++ (nivel 4)  
576  
577 251 continue  
578      call legrav(2,ptmens(5),ptrec(5))  
579      goto 25  
580  
581 C --> MASSA DA MOLA DA VALVULA      ++++++++ (nivel 4)  
582  
583 252 continue  
584      call legrav(2,ptmens(5)+1,ptrec(5)+1)  
585      goto 25  
586  
587 C --> CONSTANTE ELASTICA DA MOLA      ++++++++ (nivel 4)  
588  
589 253 continue  
590      call legrav(2,ptmens(5)+2,ptrec(5)+2)  
591      goto 25  
592  
593 C --> PRE-CARGA NA MOLA      ++++++++ (nivel 4)  
594  
595 254 continue  
596      call legrav(2,ptmens(5)+3,ptrec(5)+3)  
597      goto 25  
598  
599 C --> AREA PROJETADA INFERIOR      ++++++++ (nivel 4)  
600  
601 255 continue  
602      call legrav(2,ptmens(5)+4,ptrec(5)+4)  
603      goto 25  
604  
605 C --> AREA PROJETADA SUPERIOR      ++++++++ (nivel 4)
```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
606  
607 256 continue  
608      call legrav(2,ptmens(5)+5,ptrec(5)+5)  
609      goto 25  
610  
611 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS      ++++++++ (nivel 4)  
612  
613 257 continue  
614      call disp(ptrec(5),ptrec(5)+5)  
615      goto 25  
616  
617 C --> RETORNO AD MENU "BOMBA INJETORA      ++++++++ (nivel 4)  
618  
619 258 continue  
620      goto 2  
621  
622 C --> VALVULA REGULADORA DE PRESSAO ++++++++ (nivel 3)  
623  
624 26  continue  
625      call menu(point(9,1),point(9,2),op)  
626      goto (261,262,263,264,265) op  
627  
628 C --> CONSTANTE ELASTICA DA MOLA      ++++++++ (nivel 4)  
629  
630 261 continue  
631      call legrav(2,ptmens(6),ptrec(6))  
632      goto 26  
633  
634 C --> DIAMETRO DE ENTRADA      ++++++++ (nivel 4)  
635  
636 262 continue  
637      call legrav(2,ptmens(6)+1,ptrec(6)+1)  
638      goto 26  
639  
640 C --> DIAMETRO DE SAIDA      ++++++++ (nivel 4)  
641  
642 263 continue  
643      call legrav(2,ptmens(6)+2,ptrec(6)+2)  
644      goto 26  
645  
646 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS      ++++++++ (nivel 4)  
647  
648 264 continue  
649      call disp(ptrec(6),ptrec(6)+2)  
650      goto 26  
651  
652 C --> RETORNO AO MENU "BOMBA INJETORA"      ++++++++ (nivel 4)  
653  
654 265 continue  
655      goto 2  
656  
657 C --> RETORNO AO MENU "EDICAO"      ++++++++ (nivel 3)  
658  
659 27  continue  
660      goto 1  
661  
662 C --> LINHA DE INJECAD      ++++++++ (nivel 2)  
663
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
664 3      continue
665      call menu(point(10,1),point(10,2),op)
666      goto (31,32,33,34,35) op
667
668 C --> DIAMETRO INTERNO      ++++++ (nivel 3)
669
670 31      continue
671      call legrav(2,ptmens(7),ptrec(7))
672      goto 3
673
674 C --> COMPRIMENTO      ++++++ (nivel 3)
675
676 32      continue
677      call legrav(2,ptmens(7)+1,ptrec(7)+1)
678      goto 3
679
680 C --> RUGOSIDADE EQUIVALENTE      ++++++ (nivel 3)
681
682 33      continue
683      call legrav(2,ptmens(7)+2,ptrec(7)+2)
684      goto 3
685
686 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS      ++++++ (nivel 3)
687
688 34      continue
689      call disp(ptrec(7),ptrec(7)+2)
690      goto 3
691
692 C --> RETORNO AO MENU "EDICAO"      ++++++ (nivel 3)
693
694 35      continue
695      goto 1
696
697 C --> BICO INJETOR      ++++++ (nivel 2)
698
699 4      continue
700      call menu(point(11,1),point(11,2),op)
701      goto (41,42,43,44) op
702
703 C --> CAMARAS E ORIFICIOS DE PASSAGEM      ++++++ (nivel 3)
704
705 41      continue
706      call menu(point(12,1),point(12,2),op)
707      goto (411,412,413,414,415,416) op
708
709 C --> VOLUME MORTO DA CAMARA DE INJECAD      ++++++ (nivel 4)
710
711 411     continue
712      call legrav(2,ptmens(8),ptrec(8))
713      goto 41
714
715 C --> VOLUME MORTO DA CAMARA INFERIOR      ++++++ (nivel 4)
716
717 412     continue
718      call legrav(2,ptmens(8)+1,ptrec(8)+1)
719      goto 41
720
721 C --> VOLUME MORTO DA CAMARA SUPERIOR      ++++++ (nivel 4)
```



```
Line# Source Line  
722  
723 413 continue  
724     call legrav(2,ptmens(8)+2,ptrec(8)+2)  
725     goto 41  
726  
727 C --> DIAMETRO DOS ORIFICIO DO INJETOR  +++++++ (nivel 4)  
728  
729 414 continue  
730     call legrav(2,ptmens(8)+3,ptrec(8)+3)  
731     goto 41  
732  
733 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS  +++++++ (nivel 4)  
734  
735 415 continue  
736     call disp(ptrec(8),ptrec(8)+3)  
737     goto 41  
738  
739 C --> RETORNO AO MENU "BICO INJETOR"  ++++++++ (nivel 4)  
740  
741 416 continue  
742     goto 4  
743  
744 C --> VALVULA DE AGULHA  ++++++++ (nivel 3)  
745  
746 42 continue  
747     call menu(point(13,1),point(13,2),op)  
748     goto (421,422,423,424,425,426,427) op  
749  
750 C --> MASSA DA AGULHA  ++++++++ (nivel 4)  
751  
752 421 continue  
753     call legrav(2,ptmens(9),ptrec(9))  
754     goto 42  
755  
756 C --> MASSA DA MOLA  ++++++++ (nivel 4)  
757  
758 422 continue  
759     call legrav(2,ptmens(9)+1,ptrec(9)+1)  
760     goto 42  
761  
762 C --> CONSTANTE ELASTICA DA MOLA  ++++++++ (nivel 4)  
763  
764 423 continue  
765     call legrav(2,ptmens(9)+2,ptrec(9)+2)  
766     goto 42  
767  
768 C --> PRE-CARGA NA MOLA  ++++++++ (nivel 4)  
769  
770 424 continue  
771     call legrav(2,ptmens(9)+3,ptrec(9)+3)  
772     goto 42  
773  
774 C --> GEOMETRIA DA VALVULA  ++++++++ (nivel 4)  
775  
776 425 continue  
777     call menu(point(14,1),point(14,2),op)  
778     goto (4251,4252,4253) op  
779
```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line  
780 C --> AGULHA COM CAMARA SUPERIOR ++++++ (nivel 5)  
781  
782 4251 continue  
783      call perfil(ptrec(9)+4,ptmens(9)+4)  
784      goto 425  
785  
786 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS ++++++ (nivel 5)  
787  
788 4252 continue  
789      call disp(ptrec(9)+4,ptrec(9)+5)  
790      goto 425  
791  
792 C --> RETORNO AO MENU "VALVULA DE AGULHA" ++++ (nivel 5)  
793  
794 4253 continue  
795      goto 42  
796  
797 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS ++++++ (nivel 4)  
798  
799 426 continue  
800      call disp(ptrec(9),ptrec(9)+3)  
801      goto 42  
802  
803 C --> RETORNO AO MENU "BICO INJETOR" ++++++ (nivel 4)  
804  
805 427 continue  
806      goto 4  
807  
808 C --> CAMARA DE COMBUSTAO ++++++ (nivel 3)  
809  
810 43 continue  
811      call menu(point(15,1),point(15,2),op)  
812      goto (431,432,433,434) op  
813  
814 C --> PRESSAO X ANG. DO MOTOR (POLINOMIO) ++++ (nivel 4)  
815  
816 431 continue  
817      call curva(ptrec(10),ptmens(10))  
818      goto 43  
819  
820 C --> PRESSAO X ANG. DO MOTOR (ARQUIVO) ++++++ (nivel 4)  
821  
822 432 continue  
823      call arq(ptmens(10)+2,ptrec(10))  
824      goto 43  
825  
826 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS ++++++ (nivel 4)  
827  
828 433 continue  
829      call disp(ptrec(10),ptrec(10)+5)  
830      goto 43  
831  
832 C --> RETORNO AO MENU "BICO INJETOR" ++++++ (nivel 4)  
833  
834 434 continue  
835      goto 4  
836  
837 C --> RETORNO AO MENU "EDICAO" ++++++ (nivel 3)
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

838
839 44  continue
840      goto 1
841
842 C --> COMBUSTIVEL  ++++++ (nivel 2)
843
844 5  continue
845      call menu(point(16,1),point(16,2),op)
846      goto (51,52,53,54) op
847
848 C --> "BULK MODULUS" X PRESSAO  ++++++ (nivel 3)
849
850 51  continue
851      call curva(ptrec(11),ptmens(11))
852      goto 5
853
854 C --> VISCOSIDADE CINEMATICA X PRESSAO  ++++++ (nivel 3)
855
856 52  continue
857      call curva(ptrec(11)+6,ptmens(11)+2)
858      goto 5
859
860 C --> APRESENTACAO DOS VALORES ATUAIS  ++++++ (nivel 3)
861
862 53  continue
863      call disp(ptrec(11),ptrec(11)+11)
864      goto 5
865
866 C --> RETORNO AO MENU "EDICAO"  ++++++ (nivel 3)
867
868 54  continue
869      goto 1
870
871
872 C --> RETORNO AO MENU "EDICAO"  ++++++ (nivel 3)
873
874 66  continue
875      goto 1
876
877 C --> RETORNO AO MENU "EDICAO"  ++++++ (nivel 2)
878
879 6  continue
880      return
881
882      end

```

FIARQ Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
OP	local	INTEGER*4	4	007a
POINT	AREA5	INTEGER*4	160	0000
P.REC	AREA6	INTEGER*4	80	0000
P.MENS	AREA7	INTEGER*4	80	0000

883  
884 C -----

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

885
886      subroutine curva(ind,nmens)
887
888 C --> LE E GRAVA OS DADOS DESCRITIVOS DE UMA CURVA X-Y
889
890      integer ind,
891      &         i,
892      &         n,
893      &         nmens
894
895 C --> ind      : registro inicial de gravacao no arquivo de trabalho
896 C --> nmens   : numero da mensagem apresentada ao usuario
897
898 100  format(50x,I3)
899 101  format(79(' '))
900
901      call legrav(i,nmens,ind)
902      read (2,100,REC=ind) n
903      if (n.gt.5) n= 5
904      do 1 i=1,5
905          write (2,101,REC=ind+i)
906 1      continue
907      do 2 i=1,n
908          call legrav(3,nmens+i,ind+i)
909 2      continue
910
911      return
912      end

```

CURVA Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
NMENS	param			0006
IND	param			000a
I	local	INTEGER*4	4	007e
N	local	INTEGER*4	4	0082

```

913
914 C -----
915
916      subroutine legrav(tipo,nmens,wrec)
917
918 C --> LE E GRAVA OS DADOS FORNECIDOS PELO USUARIO
919
920      character*45 datreq(150),
921      &            daterr(10)
922      integer      tipo,
923      &            nmens,
924      &            wrec,
925      &            n,
926      &            i
927      real         coef(6),
928      &            r
929
930      common/area3/ datreq
931      common/area4/ daterr

```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
932
933 C --> tipo : dado de entrada: 1) numero inteiro
934 C 2) numero real
935 C 3) descricao de uma curva
936 C --> nmens : numero da mensagem apresentada ao usuario
937 C --> wrec : registro do arquivo de trabalho que contera a variavel
938 C --> n : variavel inteira
939 C --> r : variavel real
940
941 100 format(79(' '))
942 101 format(1x,'DIGITE ',A45,1x,\)
943 102 format(I3,1x,A45,1x,I3)
944 103 format(1x,A45)
945 104 format(I3,1x,A45,1x,E10.3)
946 105 format(1x,'DIGITE ',A29\)
947 106 format(I3,1x,'xi,xf,a,b,c,d: ',6(E10.3))
948
949 C --> APAGA CONTEUDO DO REGISTRO ORIGINAL
950
951 if (tipo.ne.3) then
952 write (2,100,REC=wrec)
953 endif
954
955 goto (1,2,3) tipo
956
957 C --> VARIAVEL INTEIRA
958
959 1 continue
960 write (6,101) datreq(nmens)
961 read (5,*,ERR=1000) n
962 if (n.le.0) goto 1001
963 write (2,102,REC=wrec) wrec,datreq(nmens),n
964 return
965 1001 continue
966 write (6,103) daterr(3)
967 goto 1
968 1000 continue
969 write (6,103) daterr(1)
970 goto 1
971
972 C --> VARIAVEL REAL
973
974 2 continue
975 write (6,101) datreq(nmens)
976 read (5,*,ERR=1002) r
977 if (r.lt.0) goto 1003
978 write (2,104,REC=wrec) wrec,datreq(nmens),r
979 return
980 1003 continue
981 write (6,103) daterr(3)
982 goto 2
983 1002 continue
984 write (6,103) daterr(2)
985 goto 2
986
987 C --> VETOR COM 6 ELEMENTOS
988
989 3 continue

```



Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

990      write (6,105) datreq(nmens)
991      read  (5,*,ERR=1004) (coef(i),i=1,6)
992      write (2,106,REC=wrec) wrec,(coef(i),i=1,6)
993      return
994 1004  continue
995      write (6,103) daterr(4)
996      goto 3
997
998      end
  
```

LEGRAV Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
WREC	param			0006
NMENS	param			000a
TRPO	param			000e
I	local	INTEGER*4	4	0086
N	local	INTEGER*4	4	008a
R	local	REAL*4	4	008e
COEF	local	REAL*4	24	0092
DATREQ	AREA3	CHAR*45	6750	0000
D.TERR	AREA4	CHAR*45	450	0000

```

999
1000 C -----
1001
1002      subroutine disp(i1,i2)
1003
1004 C --> APRESENTA NO DISPLAY OS REGISTROS DESDE i1 ATE i2
1005
1006      character*75 regis,
1007      & branco
1008      character*1 tr
1009      integer i1,
1010      & i2,
1011      & i
1012
1013      data branco/' '/
1014
1015 C --> i1 : indice do primeiro registro
1016 C --> i2 : indice do ultimo registro
1017
1018 100  format(4x,A75)
1019 101  format(1x,A75)
1020 102  format(1x,'TRANSMITA "Enter" para continuar! \)
1021 103  format(A1)
1022 104  format(' ')
1023
1024      do 1 i=i1,i2
1025          read (2,100,REC=i) regis
1026          if (regis.ne.branco)then
1027              write (6,101) regis
1028          endif
1029 1    continue
1030      write (6,102)
1031      read (5,103) tr
  
```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

1032      write (6,104)
1033      return
1034      end

```

Disp Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
...	param			0006
...	param			000a
...	local	INTEGER*4	4	00aa
...	local	CHAR*1	1	00ae
REGIS	local	CHAR*75	75	00b0
BRANCO	local	CHAR*75	75	01a0

```

1035
1036 C -----
1037
1038      subroutine perfil(ind,mens)
1039
1040 C --> SOLICITA AO USUARIO A DESCRICAO DO PERFIL DA AGULHA
1041
1042      character*45 datreq(150),
1043      &          daterr(10)
1044      integer ind,
1045      &          mens,
1046      &          i
1047      real      aux(8)
1048      common/area3/ datreq
1049      common/area4/ daterr
1050
1051 C --> ind      : endereco do registro onde sera gravado o perfil
1052 C --> mens    : endereco da mensagem inicial
1053 C --> aux     : vetor contendo os dados do perfil (comprimento/diametro)'s
1054
1055 100  format(1x,'DIGITE ',A45,1x,\)
1056 101  format(1x,A45)
1057 102  format(I3,1x,'comprimentos: ',4(F8.3,1x))
1058 103  format(I3,1x,'diametros      : ',3(F8.3,1x))
1059
1060 1    continue
1061      i= 0
1062 4    continue
1063      i= i+1
1064 6    continue
1065      write (6,100) datreq(mens+i)
1066      read  (5,*,ERR=1000) aux(i)
1067      if (aux(i).gt.0) goto 5
1068      write(6,101) daterr(3)
1069      goto 6
1070 1000 continue
1071      write (6,101) daterr(2)
1072      goto 6
1073 5    continue
1074      if (i.lt.7) goto 4
1075      if (aux(2).le.aux(4).and.aux(4).le.aux(6)) then
1076      write (2,102,REC=ind) ind,aux(1),aux(3),aux(5),aux(7)

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

1077         write (2,103,REC=ind+1) ind+1,aux(2),aux(4),aux(6)
1078         return
1079     else
1080         write(6,101) daterr(5)
1081         goto 1
1082     endif
1083 end

```

PERFIL Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
K.NS.	param			0006
P'D	param			000a
I	local	INTEGER*4	4	00fc
AUX	local	REAL*4	32	0100
ITREQ	AREA3	CHAR*45	6750	0000
DATERR	AREA4	CHAR*45	450	0000

```

1084
1085 C -----
1086
1087     subroutine arq(nmens,m)
1088
1089 C --> LE E GRAVA DADOS CORRESPONDENTES A ARQUIVOS COM PONTOS DE CURVAS
1090
1091     character*16 narq
1092     character*45 datreq(150)
1093     integer i,
1094     &      m
1095     common/area3/ datreq
1096
1097 C --> narq : Nome do arquivo onde se encontram os pontos da curva
1098 C --> nmens : Numero da mensagem solicitando o nome do arquivo
1099 C --> m : Registro do arquivo de trabalho contendo o nome "narq"
1100
1101     100 format(1x,A45\ )
1102     101 format(I3,'X',A45,A16)
1103     103 format(79(' '))
1104
1105     write (6,100) datreq(nmens)
1106     read (*,'(A)') narq
1107     write (2,101,REC=m) m,datreq(130),narq
1108     do 102 i=1,5
1109         write (2,103,REC=m+i)
1110     102 continue
1111
1112     return
1113 end

```

ATQ Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
M	param			0006
NMENS	param			000a

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

ARQ Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
L	local	INTEGER*4	4	0120
ARQ	local	CHAR*16	16	0124
PATREQ	AREA3	CHAR*45	6750	0000

```

1114
1115 C -----
1116
1117     subroutine atisim
1118
1119 C --> ATIVA O PROCESSO DE SIMULACAO DO SISTEMA DE INJECAO DIESEL
1120
1121     character*45 datreq(150),
1122     &            daterr(10)
1123     character*1  ok
1124     integer      fim
1125     real         rot,
1126     &            poscre
1127
1128     common /area3 / datreq
1129     common /area4 / daterr
1130     common /parsim/ rot, poscre
1131     common /errsim/ fim
1132
1133 C --> rot      : rotacao do motor
1134 C --> poscre: posicao da cremalheira
1135 C --> fim     : =1 : suspender a simulacao
1136 C             <>1: continuar a simulacao
1137
1138 C --> LEITURA DO ARQUIVO DE TRABALHO
1139
1140     call learqt
1141
1142 C --> LEITURA DOS DADOS CARACTERISTICOS DA SIMULACAO
1143
1144 100  format(50x,E10.3)
1145 101  format(50x,I3)
1146 102  format(1x,A45,1x\ )
1147 103  format(1x,A45)
1148
1149     fim= 0
1150
1151 1    continue
1152     call legrav(2,131,121)
1153     call legrav(2,132,122)
1154     read(2,100,REC=121) rot
1155     read(2,100,REC=122) poscre
1156
1157 C --> SIMULACAO DO SISTEMA DE INJECAO DIESEL
1158
1159     call simula
1160
1161     if (fim.eq.1) then
1162         write(6,103) daterr(7)
  
```



Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

1163         fim= 0
1164     endif
1165     write (6,102) datreq(134)
1166     read  (5,'(A)') ok
1167     if (ok.ne.'s') return
1168         goto i
1169     end
  
```

LOCALS Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
(	local	CHAR*1	1	0134
DATREQ.	AREA3	CHAR*45	6750	0000
DATERR.	AREA4	CHAR*45	450	0000
FIM	ERRSIM	INTEGER*4	4	0000
I	PARSIM	REAL*4	4	0000
POSCRE.	PARSIM	REAL*4	4	0004

```

1170
1171 C -----
1172
1173     subroutine learqt
1174
1175 C --> LE OS DADOS DO ARQUIVO DE TRABALHO
1176
1177     character*1  car
1178     character*16 narq
1179     integer      i,
1180     &            ncqxn,
1181     &            neldos,
1182     &            nccamo,
1183     &            nanman,
1184     &            ncpres,
1185     &            nanmot,
1186     &            ncbuxp,
1187     &            ncvixp,
1188     &            flcamo,
1189     &            flpres,
1190     &            ptrec (20)
1191     real         ni (5),
1192     &            nf (5),
1193     &            aq (5),
1194     &            bq (5),
1195     &            cq (5),
1196     &            dq (5)
1197     real         volgal,
1198     &            vmxcab,
1199     &            vmxcad,
1200     &            dofilt
1201     real         xi (5),
1202     &            xf (5),
1203     &            ac (5),
1204     &            bc (5),
1205     &            cc (5),
1206     &            dc (5),
1207     &            alfa (360),
  
```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.0i

```
1208      &          sp      (360)
1209      real      depeld,
1210      &          dojadm,
1211      &          pcpeld,
1212      &          cemind,
1213      &          cemaxd,
1214      &          anghel,
1215      &          dmincr,
1216      &          dmaxcr
1217      real      mvvdes,
1218      &          mmovvd,
1219      &          kmovvd,
1220      &          cmovvd,
1221      &          apivvd,
1222      &          apsvvd
1223      real      kmovvr,
1224      &          dievvr,
1225      &          pcmvvr
1226      real      dial,
1227      &          coml,
1228      &          rugl
1229      real      vmcinj,
1230      &          vmcinf,
1231      &          vmcsup,
1232      &          dorbin
1233      real      magu,
1234      &          mmoagu,
1235      &          kmoagu,
1236      &          cmoagu,
1237      &          cinf,
1238      &          cint,
1239      &          csup,
1240      &          chas,
1241      &          dinf,
1242      &          dint,
1243      &          dsup
1244      real      yi      (5),
1245      &          yf      (5),
1246      &          ap      (5),
1247      &          bp      (5),
1248      &          cp      (5),
1249      &          dp      (5),
1250      &          beta   (360),
1251      &          pcc    (360)
1252      real      pi      (5),
1253      &          pf      (5),
1254      &          ab      (5),
1255      &          bb      (5),
1256      &          cb      (5),
1257      &          db      (5)
1258      real      p1      (5),
1259      &          p2      (5),
1260      &          av      (5),
1261      &          bv      (5),
1262      &          cv      (5),
1263      &          dv      (5)
1264
1265      common /area6 / ptre
```

## Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.0i

```

1266      common /botran/ ncqxn,ni,nf,aq,bq,cq,dq
1267      common /bincao/ neldos,volgal,vmxcab,vmxcad,dofilt
1268      common /bincam/ nccamo,nanman,flcamo,xi,xf,ac,bc,cc,dc,alfa,sp
1269      common /bieldo/ depeld,dojadm,pcpeld,cemind,cemaxd,anghel,
1270      &
1271      common /bivvde/ mvvdes,mmovvd,kmovvd,cmovvd,apivvd,apsvvd
1272      common /bivvre/ kmovvr,dievvr,pcmvvr
1273      common /liinje/ dial,coml,rugl
1274      common /biccarn/ vmcinj,vmcinf,vmcsup,dorbin
1275      common /biagul/ magu,mmoagu,kmoagu,cmoagu,cinf,cint,csup,chas,
1276      &
1277      common /biccom/ ncpres,nanmot,flpres,yi,yf,ap,bp,cp,dp,beta,pcc
1278      common /cobulk/ ncbuxp,pi,pf,ab,bb,cb,db
1279      common /covisc/ ncvixp,p1,p2,av,bv,cv,dv
1280
1281 C --> ncqxn : numero de trechos de curvas QxN
1282 C --> ni,
1283 C --> nf      : vetores com os intervalos de rotacao
1284 C --> aq,
1285 C --> bq,
1286 C --> cq,
1287 C --> dq      : vetores com os coeficientes dos polinomios Q=Q(N)
1288
1289 C --> volgal: volume da galeria da bomba
1290 C --> neldos: numero de elementos dosadores
1291 C --> vmxcab: volume maximo da camara da bomba
1292 C --> vmxcad: volume maximo da camara de descarga
1293 C --> dofilt: diametro do orificio do filtro
1294
1295 C --> flcamo: (i) camo descrito por polinomios
1296 C              (0) camo descrito ponto a ponto
1297 C --> nccamo: numero de trechos de curvas Sp=Sp(ang.man.)
1298 C --> xi,
1299 C --> xf      : vetores com os intervalos de angulo de manivela
1300 C --> ac,
1301 C --> bc,
1302 C --> cc,
1303 C --> dc      : vetores com os coeficientes dos polinomios Sp=Sp(ang.man.)
1304 C --> nanman: numero de angulos de manivela
1305 C --> alfa   : vetor com os angulos de manivela
1306 C --> sp      : vetor com os deslocamentos do pistao
1307
1308 C --> depeld: diametro externo do pistao do elemento dosador
1309 C --> dojadm: diametro do orificio da janela de admissao
1310 C --> pcpeld: pre-curso do pistao do elemento dosador
1311 C --> cemind: curso efetivo minimo de dosagem
1312 C --> cemaxd: curso efetivo maximo de dosagem
1313 C --> anghel: angulo de helice
1314 C --> dmincr: deslocamento minimo da cremalheira
1315 C --> dmaxcr: deslocamento maximo da cremalheira
1316
1317 C --> mvvdes: massa da valvula de descarga
1318 C --> mmovvd: massa da mola da valvula de descarga
1319 C --> kmovvd: constante elastica da mola da valvula de descarga
1320 C --> cmovvd: pre-carga na mola da valvula de descarga
1321 C --> apivvd: area projetada inferior da valvula de descarga
1322 C --> apsvvd: area projetada superior da valvula de descarga
1323

```

```
Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
1324 C --> kmovvr: constante elastica da mola da valvula reguladora
1325 C --> dievvr: diametro de entrada da valvula reguladora
1326 C --> pcmvvr: pre-curso da mola da valvula reguladora
1327
1328 C --> dial : diametro da linha de injecao
1329 C --> coml : comprimento da linha de injecao
1330 C --> rugl : rugosidade da linha de injecao
1331
1332 C --> vmcinj: volume morto da camara de injecao
1333 C --> vmcinf: volume morto da camara inferior
1334 C --> vmcsup: volume morto da camara superior
1335 C --> dorbin: diametro dos orificios do bico injetor
1336
1337 C --> magu : massa da agulha
1338 C --> mmoagu: massa da mola da agulha
1339 C --> kmoagu: constante elastica da mola da agulha
1340 C --> cmoagu: pre-carga da mola da agulha
1341 C --> cinf : comprimento do cone inferior da agulha
1342 C --> dinf : diametro maior do cone inferior da agulha
1343 C --> cint : comprimento do cone intermediario da agulha
1344 C --> dint : diametro maior do cone intermediario da agulha
1345 C --> csup : comprimento do cone superior da agulha
1346 C --> dsup : diametro maior do cone superior da agulha
1347 C --> chas : comprimento da haste da agulha
1348
1349 C --> flpres: (1) curva de pressao descrita por polinomios
1350 C (0) curva de pressao descrita ponto a ponto
1351 C --> ncpres: numero de trechos de curvas P=P(ang.motor)
1352 C --> gi,
1353 C --> gf : vetores com os intervalos de angulos de motor
1354 C --> ap,
1355 C --> bp,
1356 C --> cp,
1357 C --> dp : vetores com os coeficientes dos polinomios P=P(ang.motor)
1358
1359 C --> ncbuxp: numero de trechos de curvas Bulk=Bulk(pressao)
1360 C --> pi,
1361 C --> pf : vetores com os intervalos de pressao
1362 C --> ab,
1363 C --> bb,
1364 C --> cb,
1365 C --> db : vetores com os coeficientes dos polinomios Bulk=Bulk(p)
1366
1367 C --> ncvixp: numero de trechos de curvas Ni=Ni(pressao)
1368 C --> p1,
1369 C --> p2 : vetores com os intervalos de pressao
1370 C --> av,
1371 C --> bv,
1372 C --> cv,
1373 C --> dv : vetores com os coeficientes dos polinomios Ni=Ni(p)
1374
1375 100 format(50x,E10.3)
1376 101 format(50x,I3)
1377 102 format(18x,4(F8.3,ix))
1378 103 format(18x,3(F8.3,ix))
1379 104 format(19x,6(E10.3))
1380 105 format(3x,A1)
1381 106 format(F10.3,ix,F10.3)
```



```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
1382 107 format(49x,A16)
1383
1384 C --> BOMBA DE TRANSFERENCIA
1385
1386 read (2,101,REC=ptrec(1))ncqxn
1387 do 1 i=1,ncqxn
1388 read (2,104,REC=ptrec(1)+i) ni(i),nf(i),aq(i),bq(i),cq(i),dq(i)
1389 1 continue
1390
1391 C --> CAMARAS E ORIFICIOS DA BOMBA INJETORA
1392
1393 read (2,100,REC=ptrec(2)) volgal
1394 read (2,101,REC=ptrec(2)+1) neldos
1395 read (2,100,REC=ptrec(2)+2) vmxcab
1396 read (2,100,REC=ptrec(2)+3) vmxcad
1397 read (2,100,REC=ptrec(2)+4) dofilt.
1398
1399 C --> CURVA DO CAMO
1400
1401 read (2,105,REC=ptrec(3)) car
1402 if (car.ne.'X') then
1403
1404 C --> CURVA DESCRITA POR POLINOMIOS
1405
1406 flcamo= 1
1407 read (2,101,REC=ptrec(3)) nccamo
1408 do 2 i=1,nccamo
1409 read (2,104,REC=ptrec(3)+i) xi(i),xf(i),ac(i),bc(i),
1410 & cc(i),dc(i)
1411 2 continue
1412
1413 C --> CURVA DESCRITA PONTO A PONTO
1414
1415 else
1416 flcamo= 0
1417 read(2,107,REC=ptrec(3)) narq
1418 open(unit=3,file=narq,form='formatted',status='unknown')
1419 i= 0
1420 3 continue
1421 i= i+1
1422 read(3,106,END=4) alfa(i),sp(i)
1423 goto 3
1424 4 continue
1425 nanman= i-1
1426 close(unit=3)
1427 endif
1428
1429 C --> ELEMENTO DOSADOR
1430
1431 read (2,100,REC=ptrec(4)) depeld
1432 read (2,100,REC=ptrec(4)+1) dojadm
1433 read (2,100,REC=ptrec(4)+2) pcpeld
1434 read (2,100,REC=ptrec(4)+3) cemind
1435 read (2,100,REC=ptrec(4)+4) cemaxd
1436 read (2,100,REC=ptrec(4)+5) anghel
1437 read (2,100,REC=ptrec(4)+6) dmincr
1438 read (2,100,REC=ptrec(4)+7) dmaxcr
1439

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line
1440 C --> VALVULA DE DESCARGA
1441
1442 read (2,100,REC=ptrec(5)) mvvdes
1443 read (2,100,REC=ptrec(5)+1) mmovvd
1444 read (2,100,REC=ptrec(5)+2) kmovvd
1445 read (2,100,REC=ptrec(5)+3) cmovvd
1446 read (2,100,REC=ptrec(5)+4) apivvd
1447 read (2,100,REC=ptrec(5)+5) apsvvd
1448
1449 C --> VALVULA REGULADORA DE PRESSAO
1450
1451 read (2,100,REC=ptrec(6)) kmovvr
1452 read (2,100,REC=ptrec(6)+1) dievvr
1453 read (2,100,REC=ptrec(6)+2) pcmvvr
1454
1455 C --> LINHA
1456
1457 read (2,100,REC=ptrec(7)) dial
1458 read (2,100,REC=ptrec(7)+1) coml
1459 read (2,100,REC=ptrec(7)+2) rugl
1460
1461 C --> CAMARAS E ORIFICIOS DO BICO INJETOR
1462
1463 read (2,100,REC=ptrec(8)) vmcinj
1464 read (2,100,REC=ptrec(8)+1) vmcinf
1465 read (2,100,REC=ptrec(8)+2) vmcsup
1466 read (2,100,REC=ptrec(8)+3) dorbin
1467
1468 C --> AGULHA
1469
1470 read (2,100,REC=ptrec(9)) magu
1471 read (2,100,REC=ptrec(9)+1) mmoagu
1472 read (2,100,REC=ptrec(9)+2) kmoagu
1473 read (2,100,REC=ptrec(9)+3) cmoagu
1474 read (2,102,REC=ptrec(9)+4) cinf,cint,csup,chas
1475 read (2,103,REC=ptrec(9)+5) dinf,dint,dsup
1476
1477 C --> CURVA DE PRESSAO
1478
1479 read (2,105,REC=ptrec(10)) car
1480 if (car.ne.'X') then
1481
1482 C --> CURVA DESCRITA POR POLINOMIOS
1483
1484 flpres= 1
1485 read (2,101,REC=ptrec(10)) ncpres
1486 do 5 i=1,ncpres
1487 read (2,104,REC=ptrec(10)+i) yi(i),yf(i),ap(i),bp(i),
1488 & cp(i),dp(i)
1489 5 continue
1490
1491 C --> CURVA DESCRITA PONTO A PONTO
1492
1493 else
1494 flpres= 0
1495 read(2,107,REC=ptrec(10)) narq
1496 open(unit=4,file=narq,form='formatted',status='unknown')
1497 i= 0
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
1498 6      continue
1499      i= i+1
1500      read(4,106,END=7) beta(i),pcc(i)
1501      goto 6
1502 7      continue
1503      nanmot= i-i
1504      close(unit=4)
1505      endif
1506
1507 C --> COMBUSTIVEL
1508
1509      read (2,101,REC=ptrec(11)) ncbuxp
1510      do 8 i=1,ncbuxp
1511          read (2,104,REC=ptrec(11)+i) pi(i),pf(i),ab(i),bb(i),
1512          &                                cb(i),db(i)
1513 8      continue
1514          read (2,101,REC=ptrec(11)+6) ncvixp
1515          do 9 i=1,ncvixp
1516              read (2,104,REC=ptrec(11)+6+i) p1(i),p2(i),av(i),bv(i),
1517              &                                cv(i),dv(i)
1518 9      continue
1519
1520      return
1521      end

```

LEARQT Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
...	local	INTEGER*4	4	0136
PAR	local	CHAR*1	1	013a
PARQ	local	CHAR*16	16	013c
...	COBULK	REAL*4	20	0018
PLPRES	BICCOM	INTEGER*4	4	0008
PTREC	AREA6	INTEGER*4	80	0000
P1	COBULK	REAL*4	20	002c
P2	BOTRAN	REAL*4	20	0004
P3	COBULK	REAL*4	20	0040
P4	BOTRAN	REAL*4	20	0018
P5	COBULK	REAL*4	20	0054
P6	BOTRAN	REAL*4	20	002c
P7	COBULK	REAL*4	20	0068
P8	BOTRAN	REAL*4	20	0040
P9	COVISC	REAL*4	20	0004
P10	BOTRAN	REAL*4	20	0054
P11	COVISC	REAL*4	20	0018
P12	COVISC	REAL*4	20	002c
P13	BOTRAN	REAL*4	20	0068
P14	COVISC	REAL*4	20	0040
P15	BINCAO	REAL*4	4	0004
P16	COVISC	REAL*4	20	0054
P17	BINCAO	REAL*4	4	0008
P18	COVISC	REAL*4	20	0068
P19	BINCAO	REAL*4	4	000c
P20	BINCAO	REAL*4	4	0010
P21	BINCAM	REAL*4	20	000c
P22	BINCAM	REAL*4	20	0020

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

LEAQT Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
AC.	BINCAM	REAL*4	20	0034
AD.	BINCAM	REAL*4	20	0048
CC.	BINCAM	REAL*4	20	005c
CD.	BINCAM	REAL*4	20	0070
CEFA.	BINCAM	REAL*4	1440	0084
CEP.	BINCAM	REAL*4	1440	0624
CEPELD.	BIELDO	REAL*4	4	0000
CEJADM.	BIELDO	REAL*4	4	0004
CEPELD.	BIELDO	REAL*4	4	0008
CEMIND.	BIELDO	REAL*4	4	000c
CEMAXD.	BIELDO	REAL*4	4	0010
CEGHEL.	BIELDO	REAL*4	4	0014
CEMINCR.	BIELDO	REAL*4	4	0018
CEMAXCR.	BIELDO	REAL*4	4	001c
CEVDES.	BIVUDE	REAL*4	4	0000
CEMOVVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0004
CEMOVVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0008
CEMOVVD.	BIVUDE	REAL*4	4	000c
CEMOVVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0010
CEPSVVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0014
CEMOVVR.	BIVVRE	REAL*4	4	0000
CEEVVR.	BIVVRE	REAL*4	4	0004
CEMOVVR.	BIVVRE	REAL*4	4	0008
CEIAL.	LIINJE	REAL*4	4	0000
CEJML.	LIINJE	REAL*4	4	0004
CEJGL.	LIINJE	REAL*4	4	0008
CEMCINJ.	BICCAM	REAL*4	4	0000
CEMCINF.	BICCAM	REAL*4	4	0004
CEICSUP.	BICCAM	REAL*4	4	0008
CEORBIN.	BICCAM	REAL*4	4	000c
CEMAGU.	BIAGUL	REAL*4	4	0000
CEMOAGU.	BIAGUL	REAL*4	4	0004
CEMOAGU.	BIAGUL	REAL*4	4	0008
CEMOAGU.	BIAGUL	REAL*4	4	000c
CEINF.	BIAGUL	REAL*4	4	0010
CEINT.	BIAGUL	REAL*4	4	0014
CEPSUP.	BIAGUL	REAL*4	4	0018
CECHAS.	BIAGUL	REAL*4	4	001c
CEINF.	BIAGUL	REAL*4	4	0020
CEINT.	BIAGUL	REAL*4	4	0024
CEPSUP.	BIAGUL	REAL*4	4	0028
CEI.	BICCOM	REAL*4	20	000c
CEQXN	BOTRAN	INTEGER*4	4	0000
CEYF.	BICCOM	REAL*4	20	0020
CENELDOS.	BINCAD	INTEGER*4	4	0000
CECCAMO.	BINCAM	INTEGER*4	4	0000
CEI.	BICCOM	REAL*4	20	0034
CEANMAN.	BINCAM	INTEGER*4	4	0004
CEI.	BICCOM	REAL*4	20	0048
CEI.	BICCOM	REAL*4	20	005c
CENPRES.	BICCOM	INTEGER*4	4	0000
CEI.	BICCOM	REAL*4	20	0070
CEINMOT.	BICCOM	INTEGER*4	4	0004



## Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

## LEARQT Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
BETA	BICCOM	REAL*4	1440	0084
CBUXP	COBULK	INTEGER*4	4	0000
CVIXP	COVISC	INTEGER*4	4	0000
FCC	BICCOM	REAL*4	1440	0624
FLCAMO	BINCAM	INTEGER*4	4	0008
I	COBULK	REAL*4	20	0004

```

1522
1523 C -----
1524
1525     subroutine simula
1526
1527 C --> SIMULA O COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE INJECAO DIESEL EM UMA
1528 C --> CONDICAO DEFINIDA PELA ROTACAO DO MOTOR E PELA POSICAO DA
1529 C --> CREMALHEIRA DA BOMBA INJETORA.
1530
1531     character*12 titx,
1532     &             tity1,
1533     &             tity2,
1534     &             tity3,
1535     &             tity4,
1536     &             tity5,
1537     &             tity6,
1538     &             tity7,
1539     &             tity8,
1540     &             tity9
1541     character*1  ch
1542     integer fim,
1543     &         i,
1544     &         j,
1545     &         k,
1546     &         ncqxn,
1547     &         nsec,
1548     &         l,
1549     &         m
1550     real      rot,
1551     &         poscre,
1552     &         Pf,
1553     &         alfa (600),
1554     &         t      (600),
1555     &         X      (600,6)
1556     real      delalf,
1557     &         presid,
1558     &         pabvd,
1559     &         pabbin
1560     real      plin (130),
1561     &         qlin (130),
1562     &         Pr   (130),
1563     &         Qr   (130),
1564     &         Ps   (130),
1565     &         Qs   (130)
1566     real      Qzs,
1567     &         coml,

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

1568      &      rugl,
1569      &      dial
1570      real    ni      (5),
1571      &      nf      (5),
1572      &      aq      (5),
1573      &      bq      (5),
1574      &      cq      (5),
1575      &      dq      (5)
1576      real    magu,
1577      &      mmoagu,
1578      &      kmoagu,
1579      &      cmoagu,
1580      &      cinf,
1581      &      cint,
1582      &      csup,
1583      &      chas,
1584      &      dinf,
1585      &      dint,
1586      &      dsup
1587      real    mvvdes,
1588      &      mmovvd,
1589      &      kmovvd,
1590      &      cmovvd,
1591      &      apivvd,
1592      &      apsvvd,
1593      &      qi,
1594      &      qn,
1595      &      G,
1596      &      c
1597      real    Qfinl,
1598      &      Qinj (600),
1599      &      Ut (600),
1600      &      aux
1601      real    Sv      (600),
1602      &      Vv      (600),
1603      &      Pp      (600),
1604      &      Pd      (600),
1605      &      Sn      (600),
1606      &      Vn      (600),
1607      &      Pfl      (600)
1608
1609      external presal,
1610      &      presin,
1611      &      polin,
1612      &      prcham
1613      common /errsim/ fim
1614      common /parsim/ rot, poscre
1615      common /bivvde/ mvvdes, mmovvd, kmovvd, cmovvd, apivvd, apsvvd
1616      common /botran/ ncqxn, ni, nf, aq, bq, cq, dq
1617      common /estlin/ nsec, plin, qlin, Pr, Qr, Ps, Qs
1618      common /liinje/ dial, coml, rugl
1619      common /biagul/ magu, mmoagu, kmoagu, cmoagu, cinf, cint, csup, chas,
1620      &      dinf, dint, dsup
1621
1622      data titx /'ANG(Graus) '/,
1623      &      tity1 /'Sv (mm) '/,
1624      &      tity2 /'Vv (mm/sec) '/,
1625      &      tity3 /'Pp (bar) '/,

```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
1626 & tity4 /'Pd (bar) '//
1627 & tity5 /'Sn (mm) '//
1628 & tity6 /'Vn (mm/sec) '//
1629 & tity7 /'Qi(mm3/sec) '//
1630 & tity8 /'Vt(mm3) '//
1631 & tity9 /'Pflin(bar) '/'
1632 data G /9.80665 '/'
1633 & c /1188.2 /
1634
1635 C --> titx : vetor com o titulo dos graficos no eixo x
1636 C --> tity1,
1637 C tity9 : vetores com os titulos dos graficos no eixo y
1638 C --> rot : rotacao do motor
1639 C --> poscre: posicao da cremalheira
1640 C --> fim : = 1 Simulacao nao concluida
1641 C <>1 Simulacao concluida
1642 C --> alfa : vetor com os valores do angulo do camo
1643 C --> t : vetor com os valores do tempo decorrido
1644 C --> Pf : valor da pressao de alimentacao
1645 C --> X(i,1): vetor com posicoes da valvula de descarga
1646 C --> X(i,2): vetor com as velocidades da valvula de descarga
1647 C --> X(i,3): vetor com as pressoes na camara da bomba
1648 C --> X(i,4): vetor com as pressoes na camara de descarga
1649 C --> X(i,5): vetor com as posicoes da agulha do injetor
1650 C --> X(i,6): vetor com as velocidades da agulha do injetor
1651 C --> Pfl : vetor com as pressoes no final da linha de injecao
1652 C --> delalf: incremento angular inicial (antes da abertura da valvula)
1653 C --> presid: pressao residual na linha de injecao
1654 C --> pabvd : pressao de abertura da valvula de descarga
1655 C --> pabbin: pressao de abertura do bico injetor
1656 C --> Qzs : vazao da bomba de transferencia
1657 C --> nqcxn : no. de curvas de Q x N
1658 C --> ni,nf : vetores com os intervalos de rotacao
1659 C --> aq,bq,
1660 C cq,dq : vetores com os coeficientes dos polinomios Q=Q(n)
1661 C --> cmovvd: pre-carga da mola da valvula de descarga
1662 C --> apivvd: area projetada inferior da valvula de descarga
1663 C --> apsvvd: area projetada superior da valvula de descarga
1664 C --> G : aceleracao da gravidade
1665 C --> nsec : numero de seccoes ao longo da linha de injecao
1666 C --> plin : vetor com as pressoes ao longo da linha de injecao
1667 C --> qlin : vetor com as vazoes ao longo da linha de injecao
1668 C --> Pr : vetor com as pressoes de referencia a montante
1669 C --> Ps : vetor com as pressoes de referencia a jusante
1670 C --> Qr : vetor com as vazoes de referencia a montante
1671 C --> Qs : vetor com as vazoes de referencia a jusante
1672 C --> c : velocidade media do som na linha de injecao
1673 C --> Qfinl : vazao no final da linha de injecao
1674 C --> Qinj : vetor com os valores da vazao de injecao
1675 C --> Vt : vetor com os valores do volume injetado acumulado
1676 C --> aux : variavel auxiliar que mede erro
1677
1678 C --> CALCULO DOS VALORES DAS VARIAVEIS DE ESTADO DO
1679 C --> SISTEMA ANTES DA ABERTURA DA VALVULA DE DESCARGA.
1680
1681 C --> INICIALIZACAO DE VARIAVEIS
1682
1683 do 10 i=1,600

```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
1684 do 20 j=1,6
1685 X(i,j)= 0.0
1686 20 continue
1687 10 continue
1688
1689 alfa(1)= 0.0
1690 alfa(2)= 2.0
1691 delalf = 2.0
1692 Qzs= polin(rot,ncqxn,ni,nf,aq,bq,cq,dq)
1693 if (Qzs.eq.-1.0) then
1694 fim= 1
1695 return
1696 endif
1697 pabbin= 200.0
1698
1699 C --> EXECUTA A SIMULACAO DO PROCESSO DE INJECAO k VEZES, DE MODO A
1700 C --> QUE A PRESSAO RESIDUAL DA LINHA SEJA IGUAL A PRESSAO DA SECAO
1701 C --> MEDIA NA LINHA AO TERMINO DO PROCESSO DE INJECAO
1702
1703 do 6 k=1,4
1704 if (k.eq.1) then
1705 presid= 70.0
1706 else
1707 presid= 0.5*(plin(1)+plin(nsec))
1708 endif
1709 pabvd= (apsvvd*presid+10.0*G*cmovvd)/apivvd
1710 Pf = presal(Qzs)
1711 X(1,3)= Pf
1712 i = 1
1713
1714 2 continue
1715
1716 C --> INICIALIZACAO DAS VARIAVEIS DE ESTADO DO SISTEMA
1717
1718 i = i+1
1719 X(i,1)= 0.0
1720 X(i,2)= 0.0
1721 X(i,3)= presin(alfa(i-1),alfa(i),Pf,X(i-1,3))
1722 X(i,4)= presid
1723 X(i,5)= 0.0
1724 X(i,6)= 0.0
1725 Pfl(i)= presid
1726
1727 if (X(i,3).gt.pabvd) then
1728
1729 C --> DETERMINACAO DO ANGULO DE ABERTURA DA VALVULA DE DESCARGA
1730
1731 alfa(i)= alfa(i-1)+delalf/20.
1732 3 continue
1733 X(i,3)= presin(alfa(i-1),alfa(i),Pf,X(i-1,3))
1734 if (X(i,3).lt.pabvd) then
1735 alfa(i)= alfa(i)+delalf/20.
1736 goto 3
1737 endif
1738 else
1739 alfa(i+1)= alfa(i)+delalf
1740 goto 2
1741 endif

```



```

Line#   Source Line                               Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

1742
1743 C --> CALCULO DAS VARIAVEIS DE ESTADO DO SISTEMA APOS A ABERTURA DA
1744 C --> VALVULA DE DESCARGA E ANTES DA ABERTURA DA AGULHA DO INJETOR
1745
1746         X(i,1)= 0.0
1747         X(i,2)= 0.0
1748         X(i,3)= pabvd
1749         X(i,4)= presid
1750         X(i,5)= 0.0
1751         X(i,6)= 0.0
1752         Pfl(i)= presid
1753
1754         nsec = nint(36*(5.0-(rot-800.0)/800.0))
1755         delalf= 2.93E-03*rot*coml/(c*(nsec-1))
1756         call inilin(presid,0.0)
1757
1758 4         continue
1759
1760         i = i+1
1761         t(i-1) = alfa(i-1)/(3*rot)
1762         alfa(i)= alfa(i-1)+delalf
1763         t(i) = alfa(i) / (3*rot)
1764
1765         call fimlin(X,alfa(i-1),i-1,Qfinl,Qinj(i-1))
1766
1767         call caract(X(i-1,5),X(i-1,4),pabbin,Qfinl,delalf)
1768
1769         Pfl(i)= plin(nsec)
1770
1771         call integr(2,t(i-1),t(i),qlin(1),Pf,pabbin,X,i,4)
1772
1773         if (X(i,1).lt.0.0) then
1774             X(i,1)= 0.0
1775             if (X(i,2).lt.0.0) then
1776                 X(i,2)=0.0
1777             endif
1778         endif
1779
1780         if (fim.eq.i) return
1781
1782         if (plin(nsec).le.pabbin) then
1783             goto 4
1784         else
1785             pabbin= plin(nsec)
1786         endif
1787
1788 C --> CALCULO DAS VARIAVEIS DE ESTADO DO SISTEMA APOS A ABERTURA DA
1789 C --> VALVULA DE AGULHA
1790
1791         l = 601
1792         Ut(i)= 0.0
1793
1794 5         continue
1795
1796         i = i+1
1797         t(i-1) = alfa(i-1)/(3*rot)
1798         alfa(i)= alfa(i-1)+delalf
1799         t(i) = alfa(i)/(3*rot)

```

```
Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01  
800  
801 call fimlin(X,alfa(i-1),i-1,Qfinl,Qinj(i-1))  
802  
803 Vt(i)= Vt(i-1)+Qinj(i-1)*(t(i)-t(i-1))  
804  
805 call caract(X(i-1,5),X(i-1,4),pabbin,Qfinl,delalf)  
806  
807 Pfl(i)= plin(nsec)  
808  
809 call integr(2,t(i-1),t(i),qlin(1),Pf,pabbin,X,i,6)  
810  
811 if (X(i,1).lt.0.0) then  
812 X(i,1)= 0.0  
813 if (X(i,2).lt.0.0) then  
814 X(i,2)=0.0  
815 X(i,3)= 0.3*presin(alfa(i-1),alfa(i),Pf,X(i-1,3))+  
816 & 0.7*X(i,3)  
817 endif  
818 if (X(i,3).le.Pf) then  
819 l = i-1  
820 endif  
821 endif  
822 if (i.gt.1) then  
823 X(i,3)= Pf  
824 endif  
825 if (X(i,5).lt.0.0) then  
826 X(i,5)= 0.0  
827 if (X(i,6).lt.0.0) then  
828 X(i,6)= 0.0  
829 endif  
830 endif  
831  
832 if (X(i,5).gt.0.25) then  
833 X(i,5)= 0.25  
834 if(X(i,6).gt.0.0) then  
835 X(i,6)= 0.0  
836 endif  
837 endif  
838  
839 aux = 0.0  
840 do 63 m=1,nsec  
841 aux = aux+plin(m)  
842 63 continue  
843 aux = aux/nsec  
844 aux = abs(plin(nsec)-aux)  
845  
846 if (X(i,1).eq.0.0.and.X(i,5).eq.0.0.and.aux.lt.10.) then  
847 delalf= 2.0  
848 goto 6  
849 else  
850 goto 5  
851 endif  
852  
853 6 continue  
854  
855 C --> APRESENTACAO DOS GRAFICOS DA SIMULACAO  
856  
857 do 77 j=1,600
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.0i

```

Line# Source Line
.858 Sv(j)= X(j,1)
.859 Vv(j)= X(j,2)
1860 Pp(j)= X(j,3)
.861 Pd(j)= X(j,4)
.862 Sn(j)= X(j,5)
1863 Vn(j)= X(j,6)
1864
.865 77 continue
1866
1867 C --> APRESENTACAO NO DISPLAY
1868
.869 call plota(alfa,Sv,i,titx,tity1,99,99)
1870 call plota(alfa,Vv,i,titx,tity2,99,99)
.871 call plota(alfa,Pp,i,titx,tity3,99,99)
.872 call plota(alfa,Pd,i,titx,tity4,99,99)
1873 call plota(alfa,Sn,i,titx,tity5,99,99)
1874 call plota(alfa,Vn,i,titx,tity6,99,99)
.875 call plota(alfa,Qinj,i,titx,tity7,99,99)
.876 call plota(alfa,Vt,i,titx,tity8,99,99)
1877 call plota(alfa,Pfl,i,titx,tity9,99,99)
1878
.879 write(6,1000)
1880 1000 format(1x,'imprime?(S/N)')
1881 read(5,1001) ch
.882 1001 format(A1)
1883
1884 C APRESENTACAO EM IMPRESSORA
1885
.886 if (ch.eq.'S'.or.ch.eq.'s') then
1887 call plota(alfa,Sv,i,titx,tity1,0,5)
1888 call plota(alfa,Vv,i,titx,tity2,0,5)
.889 call plota(alfa,Pp,i,titx,tity3,0,5)
1890 call plota(alfa,Pd,i,titx,tity4,0,5)
1891 call plota(alfa,Sn,i,titx,tity5,0,5)
1892 call plota(alfa,Vn,i,titx,tity6,0,5)
.893 call plota(alfa,Qinj,i,titx,tity7,0,5)
1894 call plota(alfa,Vt,i,titx,tity8,0,5)
1895 call plota(alfa,Pfl,i,titx,tity9,0,5)
1896 endif
1897
1898 return
1899 end
  
```

SIMULA Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
PRESID.	local	REAL*4	4	014c
I	local	INTEGER*4	4	0150
J	local	INTEGER*4	4	0154
K	local	INTEGER*4	4	0158
C	local	CHAR*1	1	015c
L	local	INTEGER*4	4	015e
M	local	INTEGER*4	4	0162
P	local	REAL*4	2400	0166
TITX.	local	CHAR*12	12	0642
TITY1	local	CHAR*12	12	064e



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

STMULA Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
TITY2	local	CHAR*12	12	065a
TITY3	local	CHAR*12	12	0666
TITY4	local	CHAR*12	12	0672
TITY5	local	CHAR*12	12	067e
TITY6	local	CHAR*12	12	068a
TITY7	local	CHAR*12	12	0696
TITY8	local	CHAR*12	12	06a2
TITY9	local	CHAR*12	12	06ae
G	local	REAL*4	4	06ba
C	local	REAL*4	4	06be
T	local	REAL*4	2400	0ac6
ALFA	local	REAL*4	2400	1426
P	local	REAL*4	4	1d86
X	local	REAL*4	14400	1d8a
PP	local	REAL*4	2400	55ca
S.c.	local	REAL*4	2400	5f2a
R.L	local	REAL*4	2400	688a
UN	local	REAL*4	2400	71ea
DELALF	local	REAL*4	4	7b4a
S	local	REAL*4	2400	7b4e
VT	local	REAL*4	2400	84ae
VV	local	REAL*4	2400	8e0e
P.BBIN	local	REAL*4	4	976e
P.BVD	local	REAL*4	4	9772
AIX	local	REAL*4	4	9776
G.INJ	local	REAL*4	2400	977a
C.INL	local	REAL*4	4	a0da
Q7S	local	REAL*4	4	a0de
FIM	ERRSIM	INTEGER*4	4	0000
K.QXN	BOTRAN	INTEGER*4	4	0000
K.EC	ESTLIN	INTEGER*4	4	0000
ROT	PARSIM	REAL*4	4	0000
PUSCRE	PARSIM	REAL*4	4	0004
R.IN	ESTLIN	REAL*4	520	0004
Q.IN	ESTLIN	REAL*4	520	020c
PR	ESTLIN	REAL*4	520	0414
C	ESTLIN	REAL*4	520	061c
PC	ESTLIN	REAL*4	520	0824
OS	ESTLIN	REAL*4	520	0a2c
CJML	LIINJE	REAL*4	4	0004
IGL	LIINJE	REAL*4	4	0008
PTAL	LIINJE	REAL*4	4	0000
NI	BOTRAN	REAL*4	20	0004
K	BOTRAN	REAL*4	20	0018
Q	BOTRAN	REAL*4	20	002c
BQ	BOTRAN	REAL*4	20	0040
C4	BOTRAN	REAL*4	20	0054
I	BOTRAN	REAL*4	20	0068
MAGU	BIAGUL	REAL*4	4	0000
M0AGU	BIAGUL	REAL*4	4	0004
MOAGU	BIAGUL	REAL*4	4	0008
MOAGU	BIAGUL	REAL*4	4	000c
CINF	BIAGUL	REAL*4	4	0010



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

STIMULA Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
2INT.	BIAGUL	REAL*4	4	0014
2C JP.	BIAGUL	REAL*4	4	0018
2MAS.	BIAGUL	REAL*4	4	001c
2DINF.	BIAGUL	REAL*4	4	0020
2DINT.	BIAGUL	REAL*4	4	0024
2C JP.	BIAGUL	REAL*4	4	0028
4VUDES.	BIVUDE	REAL*4	4	0000
4UJUVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0004
4C JUVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0008
4UJUVD.	BIVUDE	REAL*4	4	000c
4UJUVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0010
4UJUVD.	BIVUDE	REAL*4	4	0014

1900

1901 C -----

1902

subroutine plota(x,y,n,titx,tity,ioport,model)

1904

1905 C --> CONSTROI UM GRAFICO Y=Y(X) COM N PONTOS

1906

```

1907     character*12 titx,
1908     &           tity
1909     integer      n,
1910     &           ioport,
1911     &           model
1912     real         x      (600),
1913     &           y      (600),
1914     &           xfirst,
1915     &           yfirst,
1916     &           xdelta,
1917     &           ydelta

```

1918

1919 C --> x : vetor com as abcissas

1920 C --> y : vetor com as ordenadas

1921 C --> n : numero de pontos

1922 C --> ioport: tipo de interface de hardware

1923 C --> model : identificacao do dispositivo de saida

1924 C --> titx : texto apresentado no eixo x

1925 C --> tity : texto apresentado no eixo y

1926

```

1927     call plots (0,ioport,model)
1928     call plot (1.0,1.0,-3)
1929     call scale (x,6.0,n,1)
1930     call scale (y,6.0,n,1)
1931     xfirst= x(n+1)
1932     xdelta= x(n+2)
1933     call scale (y,4.0,n,1)
1934     yfirst= y(n+1)
1935     ydelta= y(n+2)
1936     call staxis(0.1,0.1,0.1,0.04,1)
1937     call axis (0.0,0.0,titx,-10,6.0,0.0,xfirst,xdelta)
1938     call axis (0.0,0.0,tity,10,6.0,90.0,yfirst,ydelta)
1939     call line (x,y,n,1,0,4)

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line
1940      call plot (0.0,0.0,999)
1941
1942      return
1943      end
```

PIOTA Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
MODEL	param			0006
IMPORT	param			000a
TTY	param			000e
TITX	param			0012
N	param			0016
Y	param			001a
X	param			001e
XDELTA	local	REAL*4	4	a0e2
YDELTA	local	REAL*4	4	a0e6
XFIRST	local	REAL*4	4	a0ea
YFIRST	local	REAL*4	4	a0ee

```
1944
1945 C -----
1946
1947      subroutine drvest(alfa0,alfa,qin,Pfant,pabbin,X,nf,dX)
1948
1949 C --> CALCULA AS DERIVADAS DAS VARIAVEIS DE ESTADO DO SISTEMA
1950
1951      integer  neldos,
1952      &        ncbuxp,
1953      &        n,
1954      &        nf,
1955      &        fim
1956      real     alfa,
1957      &        alfa0,
1958      &        qin,
1959      &        Pfant
1960      real     X      (6),
1961      &        dX     (6),
1962      &        Q      (3)
1963      real     Kp,
1964      &        Kd,
1965      &        rot,
1966      &        poscre
1967      real     volgal,
1968      &        vmxcab,
1969      &        vmxcad,
1970      &        dofilt
1971      real     depeld,
1972      &        dojadm,
1973      &        pcpeld,
1974      &        cemind,
1975      &        cemaxd,
1976      &        anghel,
1977      &        dmincr,
1978      &        dmaxcr
1979      real     mvvdes,
```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
1980      &      mmovvd,
1981      &      kmovvd,
1982      &      cmovvd,
1983      &      apivvd,
1984      &      apsvvd
1985      real   pin   (5),
1986      &      pf    (5),
1987      &      ab    (5),
1988      &      bb    (5),
1989      &      cb    (5),
1990      &      db    (5)
1991      real   fpcmag,
1992      &      vmcinj,
1993      &      vmcinf,
1994      &      vmcsup,
1995      &      dorbin
1996      real   magu,
1997      &      mmoagu,
1998      &      kmoagu,
1999      &      cmoagu,
2000      &      cinf,
2001      &      cint,
2002      &      csup,
2003      &      chas,
2004      &      dinf,
2005      &      dint,
2006      &      dsup
2007      real   As,
2008      &      A1,
2009      &      Ai,
2010      &      pabbin,
2011      &      Pu,
2012      &      P1,
2013      &      Pij
2014      real   area,
2015      &      pi,
2016      &      G,
2017      &      Cv1,
2018      &      Cv2,
2019      &      aux
2020      external Desp,
2021      &      polin,
2022      &      Vp
2023
2024      common /bivvde/ mvvdes,mmovvd,kmovvd,cmovvd,apivvd,apsvvd
2025      common /bieldo/ depeld,dojadm,pcpeld,cemind,cemaxd,anghel,
2026      &      dmincr,dmaxcr
2027      common /bincao/ neldos,volgal,vmxcab,vmxcad,dofilt
2028      common /parsim/ rot,poscre
2029      common /cobulk/ ncbuxp,pin,pf,ab,bb,cb,db
2030      common /biccarn/ vmcinj,vmcinf,vmcsup,dorbin
2031      common /biagul/ magu,mmoagu,kmoagu,cmoagu,cinf,cint,csup,chas,
2032      &      dinf,dint,dsup
2033      common /errsim/ fim
2034      common /press / Pu,P1,Pij
2035
2036      data pi /3.1415926535/,
2037      &      G /9.80665 /
  
```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
038
2039 C --> alfa : angulo do camo no instante atual
2040 C --> alfa0 : angulo do camo no instante anterior
2041 C --> nf : numero de variaveis de estado consideradas
2042 C --> qin : vazao no inicio da linha de injecao que vem da caract.
2043 C --> Fu : pressao na camara superior do injetor
2044 C --> Pl : pressao na camara inferior do injetor
2045 C --> Pij : pressao na camara de injecao
2046 C --> X : vetor com as variaveis de estado no instante anterior
2047 C --> dX : vetor com as derivadas das variaveis de estado
2048 C --> Pfant : valor anterior da pressao Pf
2049 C --> pabbin: pressao de abertura do bico injetor
2050 C --> Kd : modulo de elasticidade volumetrica na camara de descarga
2051 C --> Kp : modulo de elasticidade volumetrica na camara da bomba
2052 C --> rot : rotacao do motor
2053 C --> vmxcab: volume maximo da camara da bomba
2054 C --> vmxcad: volume maximo da camara de descarga
2055 C --> depeld: diametro externo do pistao do elemento dosador
2056 C --> mvvdes: massa da valvula de descarga
2057 C --> mmovvd: massa da mola da valvula de descarga
2058 C --> kmovvd: constante elastica da mola da valvula de descarga
2059 C --> cmovvd: pre-carga na mola da valvula de descarga
2060 C --> apivvd: area projetada inferior da valvula de descarga
2061 C --> apsvvd: area projetada superior da valvula de descarga
2062 C --> fpcmag: forca de pre carga na mola da agulha do injetor
2063 C --> vmcinj: volume maximo da camara de injecao
2064 C --> vmcinf: volume maximo da camara inferior
2065 C --> vmcsup: volume maximo da camara superior
2066 C --> dorbin: diametro equivalente dos orificios de saida
2067 C --> magu : massa da agulha
2068 C --> mmoagu: massa da mola da agulha
2069 C --> kmoagu: constante elastica da mola da agulha
2070 C --> cmoagu: pre-carga na mola do injetor
2071 C --> cinf : comprimento do cone inferior da agulha
2072 C --> cint : comprimento do cone intermediario da agulha
2073 C --> csup : comprimento do cone superior da agulha
2074 C --> chas : comprimento da haste intermediaria da agulha
2075 C --> dinf : diametro da base do cone inferior
2076 C --> dint : diametro da haste da agulha
2077 C --> dsup : diametro maior do cone superior
2078 C --> ncbuxp: numero de trechos de curvas Bulk=Bulk(pressao)
2079 C --> pin,pf: vetores com os intervalos de pressao
2080 C --> ab,bb,
2081 C cb,db : vetores com os coeficientes dos polinomios Bulk=Bulk(p)
2082 C --> Q(1) : vazao de entrada na camara da bomba
2083 C --> Q(2) : vazao de retorno 'a galeria
2084 C --> Q(3) : vazao atraves da valvula de descarga
2085 C --> Cv1 : constante de amortecimento viscoso na valvula de descarga
2086 C --> Cv2 : constante de amortecimento viscoso na valvula de agulha
2087 C --> G : aceleracao da gravidade
2088
2089 C --> CALCULO DAS VAZDES
2090
2091 call vazoes(alfa,Pfant,X,Q)
2092
2093 C --> DERIVADAS NA BOMBA INJETORA
2094
2095 C --> CALCULO DE dSv/ dt (mm/s)

```



Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2096
2097      DX(1)= X(2)
2098
2099 C --> CALCULO DE d Vv/ dt (mm/s^2)
2100
2101      Cv1 = sqrt(2.0*(mvvdes+mmovvd/3.0)*kmovvd*G)
2102      DX(2)=1E+05*(apivvd*X(3)-apsvvd*X(4)-10.0*G*(cmovvd
2103 &          +kmovvd*X(1))-(0.01)*Cv1*X(2))/(mvvdes+mmovvd/3.0)
2104
2105 C --> CALCULO DE d Pp/ dt
2106
2107      area = pi*depeld*depeld*0.25
2108      aux = area*Vp(alfa,alfa0,rot)
2109      Kp = 1.2E+04
2110      if (Kp.eq.-1) then
2111          write(6,100)
2112 100      format(1x,'>>> Calculo de Kp')
2113          fim= 1
2114          return
2115      endif
2116
2117      DX(3)= Kp*(aux-Q(3)-apivvd*X(2)-Q(2)+Q(1))/
2118 &          (vmxcab-area*Desp(alfa)+apivvd*X(1))
2119
2120 C --> CALCULO DE d Pd/ dt
2121
2122      Kd= 1.2E+04
2123      if (Kd.eq.-1) then
2124          write(6,101)
2125 101      format(1x,'>>> Calculo de Kd')
2126          fim= 1
2127          return
2128      endif
2129
2130      if (fim.eq.1) then
2131          return
2132      else
2133          DX(4)= Kd*(apsvvd*X(2)+Q(3)-qin)/(vmxcad-apsvvd*X(1))
2134      endif
2135
2136      if (nf.le.4) then
2137          return
2138      else
2139
2140 C -->          DERIVADAS NO BICO INJETOR
2141
2142 C -->          CALCULO DE d Vn/ dt (mm/s^2)
2143
2144      Cv2 = sqrt(2.0*(magu+mmoagu/3.0)*kmoagu*G)
2145      As = 0.25*pi*(dsup*dsup-dint*dint)
2146      A1 = 0.25*pi*(dint*dint-dinf*dinf)
2147      Ai = 0.25*pi*dinf*dinf
2148      fpcmag = pabbin*As
2149
2150      if (X(5).ge.0.0) then
2151          DX(6)= 1E+05*(As*Pu+A1*P1+Ai*Pij-fpcmag-10.0*G*kmoagu*X(5)-
2152 &          0.01*Cv2*X(6))/(magu+mmoagu/3.0)
2153      else

```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
2154 dX(6)= 0.0
2155 endif
2156
2157 if (X(5).ge.0.25)then
2158 dX(6)= 1E+05*(As*Pu+Al*Pl+Ai*Pij-fpcmag-10.0*G*kmoagu*X(5)-
2159 & 0.01*Cv2*X(6))/(magu+mmoagu/3.0)
2160 if (dX(6).gt.0.0)then
2161 dX(6)= 0.0
2162 endif
2163 endif
2164
2165 C --> CALCULO DE dSn/ dt (mm/s)
2166
2167 dX(5)= X(6)
2168
2169 endif
2170
2171 return
2172 end
  
```

DRVEST Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
DX	param			0006
N	param			000a
X	param			000e
PABRIN	param			0012
PIANT	param			0016
CV	param			001a
ALFA	param			001e
ALFA0	param			0022
P	local	REAL*4	4	06da
B	local	REAL*4	4	06de
CV1	local	REAL*4	4	a0f2
AL	local	REAL*4	4	a0f6
CV2	local	REAL*4	4	a0fa
AL	local	REAL*4	4	a0fe
CU	local	REAL*4	4	a102
CV	local	REAL*4	12	a106
AP	local	REAL*4	4	a112
AREA	local	REAL*4	4	a116
CV	local	REAL*4	4	a11a
AX	local	REAL*4	4	a11e
FPCMAG	local	REAL*4	4	a122
NLLDOS	BINCAO	INTEGER*4	4	0000
NBUXP	COBULK	INTEGER*4	4	0000
FTM	ERRSIM	INTEGER*4	4	0000
ROT	PARSIM	REAL*4	4	0000
PCSCRE	PARSIM	REAL*4	4	0004
PCLGAL	BINCAO	REAL*4	4	0004
PCXCAB	BINCAO	REAL*4	4	0008
PCXCAD	BINCAO	REAL*4	4	000c
PCFILT	BINCAO	REAL*4	4	0010
PCPELD	BIELDO	REAL*4	4	0000
PCJADM	BIELDO	REAL*4	4	0004
PCPELD	BIELDO	REAL*4	4	0008



## Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
2190      &      qlin      (130),
2191      &      Pr        (130),
2192      &      Qr        (130),
2193      &      Ps        (130),
2194      &      Qs        (130)
2195      real    A5,
2196      &      A6,
2197      &      area,
2198      &      Dh,
2199      &      V1,
2200      &      V2
2201      real    As,
2202      &      A1,
2203      &      A1
2204      real    dial,
2205      &      com1,
2206      &      rug1
2207      real    vmcinj,
2208      &      vmcinf,
2209      &      vmcsup,
2210      &      dorbin
2211      real    magu,
2212      &      mmoagu,
2213      &      kmoagu,
2214      &      cmoagu,
2215      &      cinf,
2216      &      cint,
2217      &      csup,
2218      &      chas,
2219      &      dinf,
2220      &      dint,
2221      &      dsup
2222      real    ks,
2223      &      pi,
2224      &      C5,
2225      &      C6,
2226      &      folga,
2227      &      ro,
2228      &      ang,
2229      &      ni,
2230      &      Re,
2231      &      f
2232      real    c,
2233      &      B,
2234      &      R,
2235      &      Cv,
2236      &      Cp,
2237      &      flin,
2238      &      G
2239
2240      external prcham
2241
2242      common /liinje/ dial,com1,rug1
2243      common /biccam/ vmcinj,vmcinf,vmcsup,dorbin
2244      common /biagul/ magu,mmoagu,kmoagu,cmoagu,cinf,cint,csup,chas,
2245      &      dinf,dint,dsup
2246      common /press / Pu,Pl,Pij
2247      common /estlin/ nsec,plin,qlin,Pr,Qr,Ps,Qs

```



Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

248
249      data ks/1.30      /,
250      & pi/3.141592    /,
251      & C5/0.6104      /,
252      & C6/0.7959      /,
253      & folga/0.040    /
254      data ro/850.0    /,
255      & ang/60.00      /,
256      & ni/2.73E-06    /,
257      & c/1188.00      /,
258      & flin/0.025     /,
259      & G/9.80665     /
260
261 C --> X      : matriz com as variaveis de estado do sistema
262 C --> n      : indice correspondente ao instante desejado
263 C --> Q      : vazao atraves da ultima seccao da linha
264 C --> Pu     : pressao na camara superior do injetor
265 C --> Pl     : pressao na camara inferior do injetor
266 C --> Pij    : pressao na camara de injecao
267 C --> alfa   : angulo do camo
268 C --> A5     : area de passagem no cone inferior
269 C --> A6     : area total dos orificios de injecao
270 C --> area   : area da secao transversal da linha de injecao
271 C --> As     : area projetada do cone superior da agulha do injetor
272 C --> Al     : area projetada do cone intermediario da agulha do injetor
273 C --> Ai     : area projetada do cone inferior da agulha do injetor
274 C --> aux    : variavel auxiliar
275 C --> Q5     : vazao atraves da passagem variavel do cone inferior
276 C --> Q6     : vazao de injecao
277 C --> dial   : diametro interno da linha
278 C --> dorbin : diametro equivalente dos orificios do bico
279 C --> dinf   : diametro do cone inferior da agulha
280 C --> dint   : diametro daa haste da agulha
281 C --> dsup   : diametro do cone superior da agulha
282 C --> ks     : coeficiente de perda de carga singular
283 C --> C5,C6  : coeficientes de descarga
284 C --> ang    : angulo de cone do assento da agulha
285 C --> chas   : comprimento da haste da agulha
286 C --> folga  : folga entre cilindro e haste da agulha
287 C --> Dh     : diametro hidraulico na folga entre cilindro e agulha
288 C --> Re     : numero de Reynolds
289 C --> f      : coeficiente de perda de carga distribuida
290 C --> c      : velocidade do som no final da linha de injecao
291 C --> G      : aceleracao da gravidade
292 C --> Vi     : velocidades de escoamento
293 C --> prcham : pressao na camara de combustao do motor
294
295      A6      = 0.25*pi*dorbin*dorbin
296      area    = 0.25*pi*dial*dial
297      As      = 0.25*pi*(dsup*dsup-dint*dint)
298      Al      = 0.25*pi*(dint*dint-dinf*dinf)
299      Ai      = 0.25*pi*dinf*dinf
300      aux     = qlin(nsec)-As*X(n,6)
301      Pu      = plin(nsec)-1.0E-11*ro*ks*qlin(nsec)*abs(qlin(nsec))/
302      &      (area)**2
303      Dh      = 2.0*folga
304
305      if (X(n,5).gt.1E-03) then

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2306      V1 = aux/(0.25*pi*Dh*Dh)
2307      A5 = pi*dinf*X(n,5)*sin(pi*(ang/2.0)/180.0)
2308      P1 = Pu
2309      Pij = (P1*(C5*A5)**2+prcham(alfa)*(C6*A6)**2)/
2310      &      ((A6*C6)**2+(C5*A5)**2)
2311      if (Pij.ge.prcham(alfa))then
2312          Q6 = 3.1623E+05*C6*A6*sqrt(2.0*abs(Pij-prcham(alfa))/ro)
2313      else
2314          Q6 = 0.0
2315          write(6,105)
2316      105      format(ix,'entrada de gas no bico injetor')
2317      endif
2318      else
2319          P1 = Pu
2320          Pij = prcham(alfa)
2321          Q6 = 0.0
2322      endif
2323
2324      B = c/(G*area)
2325      R = flin*coml/(2*G*dial*(nsec-1)*area**2)
2326      Cv = 1.0E+03*G*(C6*A6)**2
2327      Cp = 1.0E+08*plin(nsec-1)/(ro*G)+B*qlin(nsec-1)-
2328      &      1.0E-03*R*qlin(nsec-1)*abs(qlin(nsec-1))
2329
2330      if(Cp.le.0.0)then
2331          Q = 0
2332      else
2333          Q = -B*Cv+sqrt((B*Cv)**2+2*Cv*Cp)
2334      endif
2335
2336      if(X(n,5).ge.1.0E-03.and.qlin(nsec).ne.0.0)then
2337          Q = qlin(nsec)*(1-Q6/qlin(nsec))+Q*(Q6/qlin(nsec))
2338      else
2339          Q = (As+Ai+A1)*X(n,6)
2340      endif
2341
2342      return
2343      end
  
```

MLIN Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
Q	param			0006
Q	param			000a
N	param			000e
A FA	param			0012
X	param			0016
KS	local	REAL*4	4	06f2
FL	local	REAL*4	4	06f6
CT	local	REAL*4	4	06fa
CA	local	REAL*4	4	06fe
FOLGA	local	REAL*4	4	0702
R	local	REAL*4	4	0706
ANG	local	REAL*4	4	070a
N1	local	REAL*4	4	070e
D	local	REAL*4	4	0712

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

F1MLIN Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
FLIN.	local	REAL*4	4	0716
B	local	REAL*4	4	071a
B	local	REAL*4	4	a126
V	local	REAL*4	4	a12a
AL	local	REAL*4	4	a12e
I	local	REAL*4	4	a132
A	local	REAL*4	4	a136
R	local	REAL*4	4	a13a
C	local	REAL*4	4	a13e
A	local	REAL*4	4	a142
C	local	REAL*4	4	a146
AREA	local	REAL*4	4	a14a
A X	local	REAL*4	4	a14e
A	local	REAL*4	4	a152
AS	local	REAL*4	4	a156
M.DAGU	BIAGUL	REAL*4	4	0004
K.DAGU	BIAGUL	REAL*4	4	0008
CMOAGU	BIAGUL	REAL*4	4	000c
CINF	BIAGUL	REAL*4	4	0010
U NT	BIAGUL	REAL*4	4	0014
QUP	BIAGUL	REAL*4	4	0018
CHAS	BIAGUL	REAL*4	4	001c
D.NF	BIAGUL	REAL*4	4	0020
I NT	BIAGUL	REAL*4	4	0024
DSUP	BIAGUL	REAL*4	4	0028
NSEC	ESTLIN	INTEGER*4	4	0000
R	PRESS	REAL*4	4	0000
P	PRESS	REAL*4	4	0004
P1J	PRESS	REAL*4	4	0008
FLIN.	ESTLIN	REAL*4	520	0004
Q IN.	ESTLIN	REAL*4	520	020c
PR.	ESTLIN	REAL*4	520	0414
Q.	ESTLIN	REAL*4	520	061c
R	ESTLIN	REAL*4	520	0824
QS.	ESTLIN	REAL*4	520	0a2c
DIAL.	LIINJE	REAL*4	4	0000
ML.	LIINJE	REAL*4	4	0004
PUGL.	LIINJE	REAL*4	4	0008
VMCINJ	BICCAM	REAL*4	4	0000
ICINF	BICCAM	REAL*4	4	0004
VMCSUP	BICCAM	REAL*4	4	0008
DORBIN	BICCAM	REAL*4	4	000c
DAGU.	BIAGUL	REAL*4	4	0000

2344

2345 C -----

2346

2347           subroutine caract(Posagu,Pdant,pabbin,Qfin,delalf)

2348

2349

2350 C --> CALCULA AS VAZOES E PRESSOES AO LONGO DA LINHA DE INJECAO

2351 C --> UTILIZANDO O METODO DAS CARACTERISTICAS

2352

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```
Line# Source Line  
353 integer n,  
354 & i,  
355 & ncbuxp,  
356 & ncvixp,  
357 & fim  
358 real dial,  
359 & coml,  
360 & rugl,  
361 & rot,  
362 & poscre,  
363 & delalf,  
364 & Qfin  
365 real p (130),  
366 & q (130),  
367 & Fr (130),  
368 & Qr (130),  
369 & Ps (130),  
370 & Qs (130)  
371 real pin (5),  
372 & pf (5),  
373 & ab (5),  
374 & bb (5),  
375 & cb (5),  
376 & db (5)  
377 real pi (5),  
378 & p2 (5),  
379 & av (5),  
380 & bv (5),  
381 & cv (5),  
382 & dv (5)  
383 real Pdant,  
384 & Posagu,  
385 & pabbin,  
386 & teta,  
387 & zeta,  
388 & area,  
389 & c,  
390 & cr,  
391 & cs,  
392 & pi,  
393 & G  
394 real ro,  
395 & ni,  
396 & Re,  
397 & f,  
398 & K  
399 real C1,  
400 & C2,  
401 & ks  
402 real Qaux,  
403 & delp,  
404 & delq,  
405 & aux1,  
406 & aux2  
407 real pant (130),  
408 & qant (130)  
409  
410 external polin
```



```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
 469 C --> aux1
 470 C aux2
 471 C Qaux
 472 C delp
 473 C delq : variaveis auxiliares
 474 C --> fim : =1: fim da simulacao
 475
 476 C --> CRITERIO DE ESTABILIDADE DE COURANT
 477
 478 teta= delalf*n/(3.0*rot*coml)
 479
 480 area= pi*dial*dial*0.25
 481
 482 C --> GUARDA OS VALORES ANTERIORES DAS VARIABEIS DE ESTADO NA LINHA
 483
 484 do 2 i=1,n
 485 pant(i)=p(i)
 486 qant(i)=q(i)
 487 2 continue
 488
 489 C --> CALCULO DE p E q AO LONGO DA LINHA DE INJECAO
 490
 491 ni= 2.73E-06
 492 do 1 i=1,n
 493 c ni= polin(p(i),ncvixp,p1,p2,av,bv,cv,dv)
 494 if (ni.eq.-1) then
 495 fim= i
 496 write(6,100) i,p(i)
 497 100 format(1x,'>>> Calculo de Ni/ Seccao ',i1,' p= ',E10.3)
 498 return
 499 else
 500 Re= 4.0E-06*abs(q(i))/(pi*dial*ni)
 501 endif
 502
 503 if (Re.ge.0.and.Re.lt.1.0) then
 504 f= 64.0
 505 elseif
 506 & (Re.ge.1.0.and.Re.le.1200.0) then
 507 C --> Expressao de Poiseuille
 508 f= 64.0/Re
 509 else
 510 C --> Expressao de Blasius
 511 f= 0.3164*Re**(-0.25)
 512 endif
 513
 514 if (i.eq.1) then
 515 K= 1.2E+04
 516 c K= polin(p(i),ncbuxp,pin,pf,ab,bb,cb,db)
 517 if (K.eq.-1) then
 518 write(6,101)
 519 101 format(1x,'>>> Calculo de K na seccao i')
 520 fim= 1
 521 return
 522 else
 523 c = Ci*sqrt(K/ro)
 524 p(i)= Pdant
 525 q(i)= 1E+08*(pant(i)-pant(i+1))*area/(ro*c)+qant(i+1)
 526 & -0.001*f*coml*qant(i+1)*abs(qant(i+1))/

```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01
2527      &          (2*dial*area*c*n)
2528      endif
2529      elseif
2530      &      (i.eq.n) then
2531      K=1.2E+04
2532      c      K= polin(p(i),ncbuxp,pin,pf,ab,bb,cb,db)
2533      if (K.eq.-1) then
2534      write(6,102)
2535      102      format(ix,'>>> Calculo de K na seccao n')
2536      fim= 1
2537      return
2538      else
2539      c      = C1*sqrt(K/ro)
2540      if (p(i).le.pabbin.and.Posagu.eq.0.0) then
2541      q(i)= 0.0
2542      p(i)= pant(i-1)-1E-08*ro*c*(qant(i)-qant(i-1))/area
2543      &      -1.0E-11*ro*f*qant(i-1)*abs(qant(i-1))*com1/
2544      &      (2.0*n*dial*area**2)
2545      else
2546      q(i)= Qfin
2547      p(i)= pant(i-1)-1E-08*ro*c*(qant(i)-qant(i-1))/area
2548      &      -1.0E-11*ro*f*qant(i-1)*abs(qant(i-1))*com1/
2549      &      (2.0*n*dial*area**2)
2550      endif
2551      endif
2552      else
2553      K= 1.2E+04
2554      c      K= polin(Pr(i),ncbuxp,pin,pf,ab,bb,cb,db)
2555      if (K.eq.-1) then
2556      write(6,103)
2557      103      format(ix,'>>> Calculo de Kr na seccao i<i<n')
2558      fim= 1
2559      return
2560      else
2561      cr      = C1*sqrt(K/ro)
2562      zeta = teta*cr*1000
2563      delq = qant(i)-qant(i-1)
2564      delp = pant(i)-pant(i-1)
2565      Qaux = Qr(i)
2566      Qr(i)= (qant(i)-zeta*delq)/(1.0+teta*delq/area)
2567      Pr(i)= pant(i)-(Qaux*teta/area+zeta)*delp
2568      endif
2569      K= 1.2E+04
2570      c      K= polin(Ps(i),ncbuxp,pin,pf,ab,bb,cb,db)
2571      if (K.eq.-1) then
2572      write(6,104)
2573      104      format(ix,'>>> Calculo de Ks na seccao i<i<n')
2574      fim= 1
2575      return
2576      else
2577      cs      = C1*sqrt(K/ro)
2578      zeta = teta*cs*1000
2579      delq = qant(i)-qant(i+1)
2580      delp = pant(i)-pant(i+1)
2581      Qaux = Qs(i)
2582      Qs(i)= (qant(i)-zeta*delq)/(1.0-teta*delq/area)
2583      Ps(i)= pant(i)+(Qaux*teta/area-zeta)*delp
2584      endif

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
2585      aux1 = f*com1*(Qr(i)*abs(Qr(i)))/(2.0*n*dial*area)
2586      aux2 = f*com1*(Qs(i)*abs(Qs(i)))/(2.0*n*dial*area)
2587      Qaux = q(i)
2588      p(i) = 0.5*(Ps(i)+Pr(i)-1E-08*ro*(cr*(Qaux-Qr(i))-cs*(Qaux-
2589      &      Qs(i)))/area+1E-11*ro*(aux2-aux1)/area)
2590      q(i) = (1E+08*area*(Pr(i)-Ps(i))/ro+cs*Qs(i)+cr*Qr(i)-0.001*
2591      &      (aux1+aux2))/(cs+cr)
2592
2593      endif
2594
2595
2596 1      continue
2597
2598      return
2599      end

```

LOCAL Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
DEFLALF	param			0006
QFIN	param			000a
PR.BBIN	param			000e
PANT	param			0012
POSAGU	param			0016
F1	local	REAL*4	4	0726
R	local	REAL*4	4	072a
G	local	REAL*4	4	072e
C1	local	REAL*4	4	0732
C	local	REAL*4	4	0736
K	local	REAL*4	4	073a
C	local	REAL*4	4	a15a
F	local	REAL*4	4	a15e
I	local	INTEGER*4	4	a162
K	local	REAL*4	4	a166
CR	local	REAL*4	4	a16a
C	local	REAL*4	4	a16e
R	local	REAL*4	4	a172
NT	local	REAL*4	4	a176
AREA	local	REAL*4	4	a17a
AUX1	local	REAL*4	4	a17e
AUX2	local	REAL*4	4	a182
DELP	local	REAL*4	4	a186
DELQ	local	REAL*4	4	a18a
TETA	local	REAL*4	4	a18e
PANT	local	REAL*4	520	a192
QANT	local	REAL*4	520	a39a
ZETA	local	REAL*4	4	a5a2
QAUZ	local	REAL*4	4	a5a6
POSCRE	PARSIM	REAL*4	4	0004
F	ESTLIN	REAL*4	520	0004
Q	ESTLIN	REAL*4	520	020c
PR	ESTLIN	REAL*4	520	0414
Q	ESTLIN	REAL*4	520	061c
R	ESTLIN	REAL*4	520	0824
QS	ESTLIN	REAL*4	520	0a2c
PLN	COBULK	REAL*4	20	0004

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

OBJECT Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
P	COBULK	REAL*4	20	0018
AP	COBULK	REAL*4	20	002c
B	COBULK	REAL*4	20	0040
D	COBULK	REAL*4	20	0054
D	COBULK	REAL*4	20	0068
P1	COVISC	REAL*4	20	0004
P	COVISC	REAL*4	20	0018
A	COVISC	REAL*4	20	002c
BU	COVISC	REAL*4	20	0040
Cv	COVISC	REAL*4	20	0054
D	COVISC	REAL*4	20	0068
N	ESTLIN	INTEGER*4	4	0000
NCBUXP	COBULK	INTEGER*4	4	0000
NCVIXP	COVISC	INTEGER*4	4	0000
F M	ERRSIM	INTEGER*4	4	0000
DTAL	LIINJE	REAL*4	4	0000
COML	LIINJE	REAL*4	4	0004
R GL	LIINJE	REAL*4	4	0008
ROT	PARSIM	REAL*4	4	0000

```

2600
2601 C -----
2602
2603     subroutine integr (m,t0,t,qi,Pf,pabbin,X,j,nf)
2604
2605 C --> INTEGRA NUMERICAMENTE AS EQUACOES DIFERENCIAIS X=X(t)
2606
2607     integer m,
2608     &       i,
2609     &       j,
2610     &       k,
2611     &       nf,
2612     &       fim
2613     real   t0,
2614     &     t,
2615     &     alfa0,
2616     &     alfa,
2617     &     Pf,
2618     &     pabbin,
2619     &     qi
2620     real   Pu,
2621     &     Pij,
2622     &     rot,
2623     &     poscre
2624     real   X      (600,6),
2625     &     dX      (6),
2626     &     Xi       (6),
2627     &     aux      (6,3),
2628     &     h
2629
2630     common /parsim/ rot,poscre
2631     common /errsim/ fim
2632

```



Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.0i

```

2633 C --> m      : (1) metodo de integracao de Euler
2634 C          : (2) metodo de integracao de Runge-Kutta (3a. ordem)
2635 C --> t0     : limite inferior do intervalo de integracao
2636 C --> t      : limite superior do intervalo de integracao
2637 C --> alfa0  : angulo do camo no instante t0
2638 C --> alfa   : angulo do camo no instante t
2639 C --> Pf     : pressao de alimentacao
2640 C --> qi     : vazao no inicio da linha de injecao
2641 C --> Pu     : pressao na camara superior do injetor
2642 C --> Pij    : pressao na camara de injecao
2643 C --> pabbin : pressao de abertura do bico injetor
2644 C --> X      : matriz com as variaveis de estado
2645 C --> dX     : vetor com as derivadas de X no instante t (indice j)
2646 C --> Xi,aux : vetores com variaveis auxiliares
2647 C --> h      : incremento temporal
2648
2649         alfa0= t0*rot*3.0
2650         alfa = t*rot*3.0
2651
2652         if (m.eq.1) then
2653
2654 C -->         METODO DE EULER
2655
2656             do 5 i=1,nf
2657                 Xi(i)= X(j-1,i)
2658 C -->         5         continue
2659
2660             call drvest(alfa0,alfa,qi,Pf,pabbin,Xi,nf,dX)
2661             if (fim.eq.1) return
2662
2663             do 10 i=1,nf
2664                 X(j,i)= X(j-1,i)+dX(i)*(t-t0)
2665 C -->         10         continue
2666
2667             return
2668
2669         else
2670
2671 C -->         METODO DE RUNGE-KUTTA
2672
2673             h = t-t0
2674
2675             do 15 i=1,nf
2676                 Xi(i)= X(j-1,i)
2677 C -->         15         continue
2678
2679             do 30 k= 1,3
2680
2681                 call drvest(alfa0,alfa,qi,Pf,pabbin,Xi,nf,dX)
2682                 if (fim.eq.1) return
2683
2684                 do 25 i=1,nf
2685                     aux(i,k)= h*dX(i)
2686 C -->         25         continue
2687
2688                 t= t0+h*k/3.0
2689
2690             do 35 i=1,nf

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2691          X1(i)= X(j-1,i)+aux(i,k)*k/3.0
2692 35          continue
2693
2694 30          continue
2695
2696          do 40 i=1,nf
2697          X(j,i)= X(j-1,i)+aux(i,1)*0.25+aux(i,3)*0.75
2698 40          continue
2699
2700          return
2701
2702        endif
2703
2704        end

```

INTEGR Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
NF	param			0006
J	param			000a
K	param			000e
PABBIN	param			0012
PF	param			0016
Q	param			001a
R	param			001e
T0	param			0022
Y	param			0026
ALFA0	local	REAL*4	4	a5aa
H	local	REAL*4	4	a5ae
K1	local	REAL*4	24	a5b2
I	local	INTEGER*4	4	a5ca
K	local	INTEGER*4	4	a5ce
ALFA	local	REAL*4	4	a5d2
D	local	REAL*4	24	a5d6
APX	local	REAL*4	72	a5ee
FIN	ERRSIM	INTEGER*4	4	0000
RCI	PARSIM	REAL*4	4	0000
PGCRE	PARSIM	REAL*4	4	0004

```

2705
2706 C -----
2707
2708          real function polin(x,n,xi,xf,a,b,c,d)
2709
2710 C --> DETERMINA O VALOR DE UMA FUNCAO DEFINIDA POR n
2711 C --> CURVAS POLINOMIAIS DO 3o. GRAU (a+bx+cx2+dx3)
2712
2713          integer      n,
2714          &             j
2715          real          x,
2716          &             xi(5),
2717          &             xf(5),
2718          &             a (5),
2719          &             b (5),
2720          &             c (5),
2721          &             d (5)

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2722
2723 C --> x      : valor da variavel independente
2724 C --> n      : numero de trechos de curvas polinomiais
2725 C --> xi     : vetor com os valores inferiores dos intervalos
2726 C --> xf     : vetor com os valores superiores dos intervalos
2727 C --> a,b,c,d: vetores com os coeficientes dos polinomios
2728
2729      j= 1
2730 1      continue
2731      if (x.ge.xi(j).and.x.lt.xf(j)) then
2732          polin= a(j)+b(j)*x+c(j)*x**2+d(j)*x**3
2733          return
2734      elseif
2735      &      (j.eq.n) then
2736          polin= -1
2737          return
2738      else
2739          j= j+1
2740          goto 1
2741      endif
2742
2743      end

```

LOCALIN Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
F.LIN	param			0006
F	param			0008
C	param			000c
B	param			0010
A	param			0014
XF	param			0018
XI	param			001c
K	param			0020
X	param			0024
J	local	INTEGER*4	4	a636

```

2744
2745 C -----
2746
2747      real function pontos (x0,n,x,y)
2748
2749 C --> CALCULA O VALOR DE y(x0) EM UM GRAFICO (x,y) DE n PONTOS
2750
2751      integer n,
2752      &      i
2753      real    x0,
2754      &      x    (360),
2755      &      y    (360)
2756
2757 C --> x0      : valor para o qual se calcula a funcao
2758 C --> x       : vetor com os valores da variavel independente
2759 C --> y       : vetor com os valores da variavel dependente
2760 C --> n       : numero de elementos dos vetores x e y
2761
2762      i= 1

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.0i

```

line# Source Line
2763 1 continue
2764     if (x0.ge.x(i).and.x0.lt.x(i+1)) then
2765         pontos= (y(i+1)-y(i))*(x0-x(i))/(x(i+1)-x(i))+y(i)
2766     return
2767     elseif
2768     &     (i.eq.n+1) then
2769         pontos= -1.0
2770     return
2771     else
2772         i= i+1
2773         goto 1
2774     endif
2775 return
2776 end
2777
  
```

PUNTOS Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
PUNTOS	param			0006
Y	param			0008
X	param			000c
N	param			0010
X	param			0014
I	local	INTEGER*4	4	a63a

```

2778
2779 C -----
2780
2781     real function prcham(teta)
2782
2783 C --> CALCULA O VALOR DA PRESSAO NA CAMARA DE COMBUSTAO EM FUNCAO DO
2784 C -->           ANGULO DO CAMO
2785
2786     integer flpres,
2787     &     ncpres,
2788     &     nanmot,
2789     &     fim
2790     real teta,
2791     &     aux,
2792     &     yi (5),
2793     &     yf (5),
2794     &     ap (5),
2795     &     bp (5),
2796     &     cp (5),
2797     &     dp (5),
2798     &     beta (360),
2799     &     pcc (360)
2800     external polin,
2801     &     pontos
2802
2803     common /biccom/ ncpres,nanmot, flpres,yi,yf,ap,bp,cp,dp,beta,pcc
2804     common /errsim/ fim
2805
2806 C --> flpres: (1) curva de pressao descrita por polinomios
2807 C             (0) curva de pressao descrita ponto a ponto
  
```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2808 C --> ncpres: numero de trechos de curvas P=P(ang.motor)
2809 C --> yi,
2810 C --> yf : vetores com os intervalos de angulos de motor
2811 C --> ap,
2812 C --> bp,
2813 C --> cp,
2814 C --> dp : vetores com os coeficientes dos polinomios P=P(ang.motor)
2815 C --> teta : angulo do camo
2816 C --> beta : vetor com os angulos onde se avalia a funcao Sp
2817 C --> pcc : vetor com os pontos da funcao Sp
2818
2819 aux = 2.0*teta-86.0
2820 if (flpres.eq.1) then
2821 prcham= polin(aux,ncpres,yi,yf,ap,bp,cp,dp)
2822 else
2823 prcham= pontos(aux,nanmot,beta,pcc)
2824 endif
2825 if (prcham.eq.-1) then
2826 write(6,100)
2827 100 format(1x,'>>> Valor de pressao incompativel')
2828 fim= 1
2829 endif
2830
2831 return
2832 end

```

PRCHAM Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
POLIN	param			0004
PUNTOS	param			0004
PRCHAM	param			0006
TETA	param			0008
AUX	local	REAL*4	4	a63e
YI	BICCOM	REAL*4	20	0048
YF	BICCOM	REAL*4	20	005c
AP	BICCOM	REAL*4	20	0070
BP	BICCOM	REAL*4	1440	0084
CP	BICCOM	REAL*4	1440	0624
DP	BICCOM	REAL*4	4	0008
FLPRES	BICCOM	INTEGER*4	4	0000
NCPRES	BICCOM	INTEGER*4	4	0004
NANMOT	BICCOM	INTEGER*4	4	0008
FIM	ERRSIM	INTEGER*4	4	0000
BETA	BICCOM	REAL*4	20	000c
BETA	BICCOM	REAL*4	20	0020
BETA	BICCOM	REAL*4	20	0034

```

2833
2834 C -----
2835
2836      subroutine vazoes (alfa,pf,X,Q)
2837
2838 C --> CALCULA VAZOES NOS ORIFICIOS DE PASSAGEM DO SISTEMA
2839
2840      real    alfa,
2841      &      pf,

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2842      &      X      (6),
2843      &      Q      (3),
2844      &      A3
2845      real    ro,
2846      &      pi,
2847      &      C1,
2848      &      C2,
2849      &      C3
2850      real    K,
2851      &      D,
2852      &      h,
2853      &      beta
2854
2855      external area0
2856
2857      data ro/850.0      /,
2858      &      C1/4.248529E+05/,
2859      &      C2/3.667151E+05/,
2860      &      C3/5.057866E+06/,
2861      &      K/1.714662E+06/,
2862      &      pi/3.1415926535/
2863
2864      C --> alfa : angulo do camo
2865      C --> pf : pressao na camara de alimentacao
2866      C --> X : vetor com as variaveis de estado no instante anterior
2867      C --> ro : massa especifica do combustivel
2868      C --> Q(1) : vazao de entrada na camara da bomba
2869      C --> Q(2) : vazao de retorno 'a galeria
2870      C --> Q(3) : vazao atraves da valvula de descarga
2871      C --> C1,C2,
2872      C      C3 : fatores de conversao*coeficientes de descarga
2873      C --> K : coeficiente de descarga no escoamento laminar pelo furo
2874      C --> D : diametro equivalente do furo da valvula de descarga
2875      C --> h,beta: variaveis auxiliares
2876
2877      C --> CALCULO DE Q(1)
2878
2879      if (pf.ge.(X(3)+0.1)) then
2880      Q(1)= C1*area0(alfa)*sqrt((pf-X(3))/ro)
2881      else
2882      Q(1)= 0.0
2883      endif
2884
2885      C --> CALCULO DE Q(2)
2886
2887      if (X(3).ge.(pf+0.1)) then
2888      Q(2)= C2*area0(alfa)*sqrt((X(3)-pf)/ro)
2889      else
2890      Q(2)= 0.0
2891      endif
2892
2893      C --> CALCULO DE Q(3)
2894
2895      if (X(1).lt.0.10) then
2896      Q(3)= 0.0
2897      elseif (X(1).ge.0.10.and.X(1).lt.0.50) then
2898      D = 0.40
2899      h = X(1)-0.10

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2900      if(h.le.D) then
2901          beta= acos((D-2*h)/D)
2902      else
2903          beta= pi
2904      endif
2905      A3 = 0.25*(beta*D*D-(D-2*h)*D*sin(beta))
2906      Q(3)= K*A3**2*(X(3)-X(4))
2907  else
2908      Q(3)= C3*(X(1)-0.50)*sqrt(abs(X(3)-X(4))/ro)+
2909  &      K*A3**2*abs(X(3)-X(4))
2910      if(X(3).lt.X(4)) then
2911          Q(3)= -Q(3)
2912      endif
2913  endif
2914
2915      return
2916      end
  
```

Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
Q	param			0006
X	param			000a
P	param			000e
FA	param			0012
RO	local	REAL*4	4	0770
C1	local	REAL*4	4	0774
C	local	REAL*4	4	0778
C2	local	REAL*4	4	077c
K	local	REAL*4	4	0780
F	local	REAL*4	4	0784
I	local	REAL*4	4	a642
H	local	REAL*4	4	a646
BETA	local	REAL*4	4	a64a
A	local	REAL*4	4	a64e

```

2917
2918  C -----
2919
2920      real function Desp(teta)
2921
2922  C --> CALCULA O VALOR DO DESLOCAMENTO DO PISTAO PARA O ANGULO TETA
2923
2924      integer flcamo,
2925  &      nccamo,
2926  &      nanman
2927      real      teta,
2928  &      xi    (5),
2929  &      xf    (5),
2930  &      ac    (5),
2931  &      bc    (5),
2932  &      cc    (5),
2933  &      dc    (5),
2934  &      alfa  (360),
2935  &      sp    (360)
2936      external polin,
  
```



Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

2937      &          pontos
2938
2939      common /bincam/ nccamo,nanman,flcamo,xi,xf,ac,bc,cc,dc,alfa,sp
2940
2941 C --> flcamo: (1) curva de deslocamento descrita por polinomios
2942 C          (0) curva de deslocamento descrita ponto a ponto
2943 C --> nccamo: numero de polinomios descrevendo a curva Sp=Sp(alfa)
2944 C --> nanman: numero de pontos da funcao Sp=Sp(alfa)
2945 C --> teta  : angulo do camo
2946 C --> xi,xf : vetor com os intervalos de angulos do camo
2947 C --> ac,bc
2948 C          cc,dc : vetor com os coeficientes dos polinomios Sp=Sp(alfa)
2949 C --> alfa  : vetor com os angulos onde se avalia a funcao Sp
2950 C --> sp    : vetor com os pontos da funcao Sp
2951
2952      if (flcamo.eq.1) then
2953          Desp= 0.01*polin(teta,nccamo,xi,xf,ac,bc,cc,dc)
2954      else
2955          Desp= 0.01*pontos(teta,nanman,alfa,sp)
2956      endif
2957
2958      return
2959      end
  
```

DESP Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
POLIN	param			0004
PONTOS	param			0004
SP	param			0006
TETA	param			0008
AC	BINCAM	REAL*4	20	0034
BC	BINCAM	REAL*4	20	0048
CC	BINCAM	REAL*4	20	005c
DC	BINCAM	REAL*4	20	0070
ALFA	BINCAM	REAL*4	1440	0084
FLCAMO	BINCAM	REAL*4	1440	0624
NCCAMO	BINCAM	INTEGER*4	4	0008
NANMAN	BINCAM	INTEGER*4	4	0000
XT	BINCAM	INTEGER*4	4	0004
XF	BINCAM	INTEGER*4	4	0008

```

2960
2961 C -----
2962
2963      real function Vp (teta,teta0,rot)
2964
2965 C --> CALCULA O VALOR DA VELOCIDADE DO PISTAO PARA O ANGULO ALFA
2966
2967      integer flcamo,
2968      &          nccamo,
2969      &          nanman,
2970      &          i
2971      real      teta,
2972      &          teta0,
  
```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
2973      &      rot
2974      real  xi      (5),
2975      &      xf      (5),
2976      &      ac      (5),
2977      &      bc      (5),
2978      &      cc      (5),
2979      &      dc      (5),
2980      &      alfa   (360),
2981      &      sp      (360)
2982      external polin,
2983      &      Desp
2984
2985      common /bincam/ nccamo,nanman,flcamo,xi,xf,ac,bc,cc,dc,alfa,sp
2986
2987 C --> flcamo: (1) curva de deslocamento descrita por polinomios
2988 C           (0) curva de deslocamento descrita ponto a ponto
2989 C --> nccamo: numero de polinomios da funcao Vp=Vp(alfa)
2990 C --> teta  : angulo do camo atual
2991 C --> teta0 : angulo do camo anterior
2992 C --> rot   : rotacao do motor
2993 C --> xi,xf : vetor com os intervalos de angulos do camo
2994 C --> ac,bc
2995 C      cc,dc : vetor com os coeficientes dos polinomios Sp=Sp(alfa)
2996 C --> alfa  : vetor com os angulos onde se avalia a funcao Sp
2997 C --> sp    : vetor com os pontos da funcao Sp
2998
2999      if (flcamo.eq.1) then
3000          do i i=1,nccamo
3001              ac(i)= bc(i)
3002              bc(i)= 2.0*cc(i)
3003              cc(i)= 3.0*dc(i)
3004              dc(i)= 0.0
3005 1      continue
3006          Vp= polin(alfa,nccamo,xi,xf,ac,bc,cc,dc)
3007          return
3008      else
3009          Vp= (Desp(teta)-Desp(teta0))/(teta-teta0)*3.0*rot
3010          return
3011      endif
3012
3013      end

```

Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
POLIN	param			0004
DESP	param			0004
ROT	param			0006
TETA0	param			0008
TETA	param			000c
FLCAMO	local	INTEGER*4	4	a652
NCCAMO	BINCAM	INTEGER*4	4	0008
NANMAN	BINCAM	INTEGER*4	4	0000
ALFA	BINCAM	INTEGER*4	4	0004
SP	BINCAM	REAL*4	20	000c

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
IF	BINCAM	REAL*4	20	0020
IC	BINCAM	REAL*4	20	0034
IC	BINCAM	REAL*4	20	0048
IC	BINCAM	REAL*4	20	005c
IC	BINCAM	REAL*4	20	0070
IC A	BINCAM	REAL*4	1440	0084
IC B	BINCAM	REAL*4	1440	0624

```

014
015 C -----
016
017     subroutine inilin(pin,qin)
018
019 C --> INICIALIZA AS VARIAVEIS DE ESTADO NA LINHA DE INJECAO
020
021     integer n,
022     &       i
023     real    pin,
024     &       qin,
025     &       p    (130),
026     &       q    (130),
027     &       Pr   (130),
028     &       Qr   (130),
029     &       Ps   (130),
030     &       Qs   (130)
031
032     common /estlin/ n,p,q,Pr,Qr,Ps,Qs
033
034 C --> pin    : pressao inicial na linha
035 C --> qin    : vazao inicial na linha
036 C --> n     : numero de seccoes ao longo da linha
037 C --> p     : vetor com as pressoes ao longo da linha
038 C --> q     : vetor com as vazoes ao longo da linha
039 C --> Pr    : vetor com as pressoes de referencia a montante
040 C --> Ps    : vetor com as pressoes de referencia a jusante
041 C --> Qr    : vetor com as vazoes de referencia a montante
042 C --> Qs    : vetor com as vazoes de referencia a jusante
043
044     do i i=1,n
045         p(i) = pin
046         q(i) = qin
047         Pr(i)= pin
048         Qr(i)= qin
049         Ps(i)= pin
050         Qs(i)= qin
051     i     continue
052
053     return
054     end

```

## Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

## ILIN Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
QCN	param			0006
PTN	param			000a
I	local	INTEGER*4	4	a656
K	ESTLIN	INTEGER*4	4	0000
P	ESTLIN	REAL*4	520	0004
Q	ESTLIN	REAL*4	520	020c
R	ESTLIN	REAL*4	520	0414
QC	ESTLIN	REAL*4	520	061c
PS	ESTLIN	REAL*4	520	0824
QU	ESTLIN	REAL*4	520	0a2c

3055

3056

C

real function presal(Qzs)

3057

3058

3059

C --&gt; CALCULA O VALOR INICIAL DE Pf

3060

3061

integer neldos

3062

real Qzs,

3063

&amp; kmovvr,

3064

&amp; dievvr,

3065

&amp; pcmvvr,

3066

&amp; Aeq,

3067

&amp; aux,

3068

&amp; pi,

3069

&amp; ro,

3070

&amp; Cd,

3071

&amp; Cc1,

3072

&amp; Cdf

3073

real volgal,

3074

&amp; vmxcab,

3075

&amp; vmxcad,

3076

&amp; dofilt

3077

real A,

3078

&amp; B,

3079

&amp; C,

3080

&amp; P,

3081

&amp; q,

3082

&amp; r,

3083

&amp; phi,

3084

&amp; cte1,

3085

&amp; cte2

3086

3087

common /bivvre/ kmovvr,dievvr,pcmvr

3088

common /bincao/ neldos,volgal,vmxcab,vmxcad,dofilt

3089

3090

data pi /3.1415926535/,

3091

&amp; ro /850.0 /,

3092

&amp; Cd /0.8 /,

3093

&amp; Cdf /0.8 /,

3094

&amp; Cc1 /0.447214 /,

3095

&amp; cte1/0.3721 /,

3096

&amp; cte2/0.00025 /

3097



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
0098 C --> Qzs : vazao da bomba de transferencia
0099 C --> kmovvr: constante elastica da mola da valvula reguladora
0100 C --> dievvr: diametro -e entrada da valvula reguladora
0101 C --> pcmvvr: pre-curso da mola da valvula reguladora
0102 C --> dofilt: diametro do orificio do filtro
0103 C --> Aeq : area equivalente de passagem na valvula reguladora
0104 C --> aux : variavel auxiliar
0105 C --> ro : massa especifica do combustivel
0106 C --> Cd : coeficiente de descarga
0107 C --> Cci : fator de conversao de unidades
0108 C --> Cdf : coeficiente de descarga no orificio do filtro
0109 C --> A,B,C : coeficientes da equacao de pf
0110 C --> p,q,r,
0111 C phi : constantes para a determinacao das raizes da equacao de
0112 C terceiro grau
0113 C --> cte1,
0114 C cte2 : constantes utilizadas nas equacoes
0115
0116 Aeq = cte1*pi*dievvr*dievvr
0117 aux = Cd*Cci*pi*dievvr*sqrt(1.0/ro)
0118 A = aux*Aeq/(kmovvr*98060.)
0119 B = -0.001*aux*pcmvvr
0120 C = Cdf*Cci*cte2*pi*dofilt*dofilt*sqrt(1.0/ro)
0121
0122 q = -Qzs/A*0.5
0123 p = (B+C)/(3.*A)
0124 r = -sqrt(abs(p))
0125 phi = acos(q/r**3)
0126
0127 presal= (r*cos(phi/3.))**2*4.0
0128
0129 return
0130 end
  
```

PRESAL Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
PRESAL	param			0006
QZS	param			0008
R	local	REAL*4	4	0788
RO	local	REAL*4	4	078c
CD	local	REAL*4	4	0790
CF	local	REAL*4	4	0794
CCI	local	REAL*4	4	0798
CTE1	local	REAL*4	4	079c
CTE2	local	REAL*4	4	07a0
A	local	REAL*4	4	a65a
B	local	REAL*4	4	a65e
C	local	REAL*4	4	a662
F	local	REAL*4	4	a666
Q	local	REAL*4	4	a66a
R	local	REAL*4	4	a66e
AQ	local	REAL*4	4	a672
RI	local	REAL*4	4	a676
AUX	local	REAL*4	4	a67a
DEVR	BIVVRE	REAL*4	4	0004



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

APESAL Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
BMVVR.	BIVVRE	REAL*4	4	0008
BLGAL.	BINCAO	REAL*4	4	0004
BXCAB.	BINCAO	REAL*4	4	0008
BXCAD.	BINCAO	REAL*4	4	000c
BDFILT.	BINCAO	REAL*4	4	0010
BIDOS.	BINCAO	INTEGER*4	4	0000
BMOVVR.	BIVVRE	REAL*4	4	0000

```

3131
3132 C -----
3133
3134     real function area0(alfa)
3135
3136 C --> CALCULA O VALOR DA AREA DE ENTRADA NO ELEMENTO DOSADOR
3137
3138     real alfa,
3139     & depeld,
3140     & dojadm,
3141     & pcpeld,
3142     & cemind,
3143     & cemaxd,
3144     & anghel,
3145     & dmincr,
3146     & dmaxcr,
3147     & x
3148     real pi,
3149     & aux1,
3150     & aux2,
3151     & aux3,
3152     & aux4,
3153     & aux5,
3154     & aux6,
3155     & aux7,
3156     & area,
3157     & rot,
3158     & poscre,
3159     & l,
3160     & ang,
3161     & hmax,
3162     & h
3163     external Desp
3164     common /parsim/ rot,poscre
3165     common /bieldo/ depeld,dojadm,pcpeld,cemind,cemaxd,anghel,
3166     & dmincr,dmaxcr
3167
3168     data pi /3.1415926535/
3169
3170 C --> alfa : valor atual do angulo do camo
3171 C --> depeld: diametro do pistao do elemento dosador
3172 C --> dojadm: diametro do orificio da janela de admissao
3173 C --> pcpeld: pre-curso do pistao do elemento dosador
3174 C --> cemind: curso efetivo minimo de dosagem
3175 C --> cemaxd: curso maximo efetivo de dosagem

```

```

Line# Source Line Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.0i
176 C --> anghel: angulo de helice
177 C --> dmincr: deslocamento minimo da cremalheira
178 C --> dmaxcr: deslocamento maximo da cremalheira
179 C --> x : comprimento da helice
180 C --> aux1,...
181 C --> aux7 : variaveis auxiliares
182 C --> area : area de passagem
183 C --> rot : rotacao do motor
184 C --> poscre: poscao da cremalheira
185 C --> l : angulo efetivo de dosagem
186 C --> ang : angulo de helice, em radianos
187 C --> hmax : parametro auxiliar
188 C --> h : parametro auxiliar
189
190 C --> CALCULO DO CURSO EFETIVO DE DOSAGEM (1) E DE MAIS PARAMETROS
191
192 l = cemind+(cemaxd-cemind)/(dmaxcr-dmincr)*(poscre-dmincr)
193 ang = anghel*pi/180.
194 hmax= 1-0.5*dojadm*cos(ang)
195 h = 0.5*dojadm+Desp(alfa)-pcpeld
196 x = 3.1
197 aux3= 0.5*dojadm
198 aux4= hmax+x
199
200 C --> CALCULO DA AREA DE PASSAGEM
201
202 if (h.lt.aux3) then
203 aux1 = pcpeld-Desp(alfa)
204 aux2 = (dojadm-2.0*aux1)/dojadm
205 aux2 = acos(aux2)
206 area0= aux2*dojadm*dojadm*0.25-h*dojadm*0.5*sin(aux2)
207 return
208 elseif (h.le.hmax) then
209 area0= 0.0
210 return
211 elseif (h.gt.hmax.and.h.lt.aux4) then
212 aux1 = 0.5*dojadm*cos(ang)**2.0-(1-h)*cos(ang)
213 if(aux1.ge.0.0)then
214 aux2 = acos(1.0-2.*aux1/dojadm)
215 else
216 aux2 = 0.0
217 endif
218 area0= 0.25*dojadm*(aux2*dojadm-(dojadm-2.*aux1)*sin(aux2))
219 return
220 elseif (h.ge.aux4) then
221 aux1 = (Desp(alfa)-pcpeld-(1+x)*cos(ang)+
222 & 0.5*dojadm*(1+cos(ang)))*cos(ang)
223 aux2 = dojadm-aux1-x*cos(ang)
224 if(aux1.ge.0.0)then
225 aux6 = acos(1-2.0*aux1/dojadm)
226 else
227 aux6 = 0.0
228 endif
229 if(aux2.ge.0.0)then
230 aux7 = acos(1-2.0*aux2/dojadm)
231 else
232 aux7 = 0.0
233 endif

```

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
3234      area0= 0.25*(pi-aux6-aux7)*dojadm*dojadm+0.5*dojadm*
3235      &      ((.5*dojadm-aux1)*sin(aux6)+(.5*dojadm-aux2)*sin(aux7))
3236      return
3237      else
3238      area0= 99999.9
3239      write(7,100)
3240 100      format(1x,'area0 estourou')
3241      return
3242      endif
3243
3244      return
3245      end

```

AREA0 Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
DESP.	param			0004
AREA0	param			0006
ALFA.	param			0008
PT.	local	REAL*4	4	07a4
H.	local	REAL*4	4	a67e
L.	local	REAL*4	4	a682
AL3.	local	REAL*4	4	a686
X.	local	REAL*4	4	a68a
AUX1.	local	REAL*4	4	a68e
AUX2.	local	REAL*4	4	a692
AUX3.	local	REAL*4	4	a696
AUX4.	local	REAL*4	4	a69a
AUX6.	local	REAL*4	4	a69e
AUX7.	local	REAL*4	4	a6a2
HMAX.	local	REAL*4	4	a6a6
DEPELD.	BIELDO	REAL*4	4	0000
DOJADM.	BIELDO	REAL*4	4	0004
PEPELD.	BIELDO	REAL*4	4	0008
CEMIND.	BIELDO	REAL*4	4	000c
CEMAXD.	BIELDO	REAL*4	4	0010
ANGHEL.	BIELDO	REAL*4	4	0014
DMINCR.	BIELDO	REAL*4	4	0018
DMAXCR.	BIELDO	REAL*4	4	001c
ROT.	PARSIM	REAL*4	4	0000
POSURE.	PARSIM	REAL*4	4	0004

```

3246
3247 C -----
3248
3249      real function presin (alfa0,alfa,pf,ppant)
3250
3251 C --> CALCULO OS VALORES DE Pp ANTES DA ABERTURA DA VALVULA DE DESCARGA
3252
3253      real alfa0,
3254      &      alfa,
3255      &      pf,
3256      &      ppant,
3257      &      rot,
3258      &      poscre,
3259      &      Fc,

```



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

```

Line# Source Line
3260      &      Cd2,
3261      &      pi,
3262      &      ro
3263      real depeld,
3264      &      dojadm,
3265      &      pcpeld,
3266      &      cemind,
3267      &      cemaxd,
3268      &      anghel,
3269      &      dmincr,
3270      &      dmaxcr
3271      external Vp,
3272      &      area0,
3273      &      Desp
3274      common /parsim/ rot, poscre
3275      common /bieldo/ depeld, dojadm, pcpeld, cemind, cemaxd, anghel,
3276      &      dmincr, dmaxcr
3277
3278      data pi /3.1415926535/,
3279      &      ro /850. /,
3280      &      Cd2 /0.82 /,
3281      &      Fc /3.125E-13 /
3282
3283      if (area0(alfa).gt.0.01) then
3284      presin= pf+Fc*(pi*depeld*depeld/(Cd2*area0(alfa)))*2*
3285      &      Vp(alfa0, alfa, rot)*abs(Vp(alfa0, alfa, rot))*ro
3286      else
3287      presin=(1+(Desp(alfa)-Desp(alfa0))/Desp(alfa))*ppant
3288      endif
3289
3290      return
3291      end

```

F.ESIN Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
V	param			0004
AREA0	param			0004
DESP	param			0004
F.ESIN	param			0006
PPANT	param			0008
PF	param			000c
ALFA	param			0010
ALFA0	param			0014
PI	local	REAL*4	4	07b0
RO	local	REAL*4	4	07b4
CD2	local	REAL*4	4	07b8
FC	local	REAL*4	4	07bc
ROT	PARSIM	REAL*4	4	0000
POSCRE	PARSIM	REAL*4	4	0004
DEPELD	BIELDO	REAL*4	4	0000
DOJADM	BIELDO	REAL*4	4	0004
PCPELD	BIELDO	REAL*4	4	0008
CEMIND	BIELDO	REAL*4	4	000c
CEMAXD	BIELDO	REAL*4	4	0010
ANGHEL	BIELDO	REAL*4	4	0014



Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

PPESIN Local Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
DMINCR	BIELD0	REAL*4	4	0018
DMAXCR	BIELD0	REAL*4	4	001c

Global Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
AREA1	common	CHAR*90	90	0000
AREA2	common	CHAR*9900	9900	0000
AREA3	common	CHAR*6750	6750	0000
AREA4	common	CHAR*450	450	0000
AREA5	common	CHAR*160	160	0000
AREA6	common	CHAR*80	80	0000
AREA7	common	CHAR*80	80	0000
AZAO	FFUNCT	REAL*4	***	afbd
AQ	FSUBRT	***	***	2d96
ATISIM	FSUBRT	***	***	2f0f
AXIS	extern	***	***	***
BAGUL	common	***	44	0000
BCCAM	common	***	16	0000
BCCOM	common	***	3012	0000
BZLDO	common	***	32	0000
BNCAM	common	***	3012	0000
BINCAO	common	***	20	0000
BVVDE	common	***	24	0000
BVVRE	common	***	12	0000
BOTRAN	common	***	124	0000
BRACT	FSUBRT	***	***	811e
BULK	common	***	124	0000
BVISC	common	***	124	0000
BURVA	FSUBRT	***	***	22a6
BZSP	FFUNCT	REAL*4	***	a79c
CSP	FSUBRT	***	***	2917
DEVEST	FSUBRT	***	***	709f
ELIARQ	FSUBRT	***	***	0911
ERSIM	common	***	4	0000
ESTLIN	common	***	3124	0000
FIMLIN	FSUBRT	***	***	778f
ILIN	FSUBRT	***	***	ab91
INTEGR	FSUBRT	***	***	94fb
LEARQT	FSUBRT	***	***	31e3
GRAV	FSUBRT	***	***	24c2
INJE	common	***	12	0000
TNE	extern	***	***	***
MENU	FSUBRT	***	***	073b
ERSIM	common	***	8	0000
PERFIL	FSUBRT	***	***	2abf
PLOT	extern	***	***	***
PLJTA	FSUBRT	***	***	6c3e
PLOTS	extern	***	***	***
POLIN	FFUNCT	REAL*4	***	9d6b
PONTOS	FFUNCT	REAL*4	***	9f9b

Microsoft FORTRAN Optimizing Compiler Version 4.01

Global Symbols

Name	Class	Type	Size	Offset
ARCHAM. . . . .	FFUNCT	REAL*4	***	a224
ARCASAL. . . . .	FFUNCT	REAL*4	***	adc2
ARCOSIN. . . . .	FFUNCT	REAL*4	***	b604
ARESS. . . . .	common	***	12	0000
ARSCALE. . . . .	extern	***	***	***
ARCQUILA. . . . .	FSUBRT	***	***	46a4
ARSTAXIS. . . . .	extern	***	***	***
ARMAZONES. . . . .	FSUBRT	***	***	a3b3
ARIP. . . . .	FFUNCT	REAL*4	***	a8ba
ARIN. . . . .	FSUBRT	***	***	001e

Code size = b7e2 (47074)  
Data size = 0894 (2196)  
Bss size = a6aa (42666)

0 errors detected