



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1007554-2 B1

(22) Data do Depósito: 20/05/2010

(45) Data de Concessão: 13/06/2017



(54) Título: BOCAL DE DESCARGA DE METAL FUNDIDO

(51) Int.Cl.: B22D 11/10; B22D 41/50

(30) Prioridade Unionista: 24/07/2009 JP 2009-172805

(73) Titular(es): KROSAKIHARIMA CORPORATION

(72) Inventor(es): ARITO MIZOBE; HIDEAKI KAWABE; MANABU KIMURA

“BOCAL DE DESCARGA DE METAL FUNDIDO”

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção diz respeito a um bocal de descarga de metal fundido (devorante referida simplesmente como "bocal") formado com um furo interno para permitir a passagem de metal fundido e projetada para ser instalada no fundo de um vaso de metal fundido de maneira a descarregar metal fundido do vaso de metal fundido através do furo interno e, mais particularmente, a uma configuração do furo interno do bocal.

FUNDAMENTOS DA TÉCNICA

Um bocal para ser instalado no fundo de um vaso de metal fundido é adaptada para descarregar metal fundido em uma direção aproximadamente vertical através de seu furo interno, usando uma coluna hidrostática (altura hidrostática) de metal fundido como energia motriz. O furo interno do bocal é tipicamente formado em uma configuração reta, onde ele estende-se direta e verticalmente, uma configuração onde uma borda de canto do mesmo no lado de uma extremidade superior do bocal é feito na forma de um arco, ou uma configuração cônica, onde ela estende-se conicamente da extremidade superior até uma extremidade inferior do bocal.

O bocal inclui um tipo não somente com a função de simplesmente descarregar metal fundido, mas também uma função de controlar o volume de descarga (taxa de descarga) e a direção de descarga do metal fundido. Por exemplo, como para um bocal de lingotamento contínuo a ser instalada no fundo do vaso de aço líquido, tal como um distribuidor, um bocal superior 1a tem um dispositivo de controle de vazão (por exemplo, um dispositivo de válvula de gaveta (SN); vide o número de referência 12 na figura 4) no seu lado inferior, como mostrado na figura 4. O bocal também inclui um tipo aberto (bocal aberto) 1b desprovido de dispositivo de controle de vazão, como mostrado na figura 5.

É sabido que, se ocorrer turbulência em uma corrente de metal

fundido que passa através do furo interno do bocal convencional, isto causa vários problemas, independente da presença ou ausência do dispositivo de controle de vazão. Por exemplo, a turbulência provavelmente perturba o controle da vazão no bocal com o dispositivo de controle de vazão, ou causa
5 espalhamento da corrente de metal fundido descarregada na extremidade inferior do bocal aberto em um ambiente aberto (vide o número de referência 15 na figura 5).

Um fator que causa turbulência em uma corrente de metal fundido que passa através do furo interno inclui a adesão de inclusões não
10 metálicas derivadas do metal fundido, etc. (doravante referida simplesmente como "adesão de inclusão") no furo interno (vide o número de referência 14 na figura 4) e uma mudança na configuração do furo interno por causa de desgaste irregular do furo interno.

A fim de evitar o fenômeno citado, várias medidas foram até
15 então tentadas. Por exemplo, como medidas para a adesão de inclusão, o documento de patente 1 seguinte propõe injetar gás por uma superfície de parede de um furo interno de um bocal. Adicionalmente, o documento de patente 2 seguinte propõe formar uma camada refratária resistente a adesão de
20 inclusão (camada refratária resistente a adesão) em uma superfície de parede de um furo interno de um bocal. A técnica de injetar gás por uma superfície de parede de um furo interno de um bocal e a técnica de formar uma camada refratária resistente a adesão em uma superfície de parede de um furo interno de um bocal foram implementados em todos bocais que têm que comunicar com a abertura de descarga de metal fundido, tal como um bocal superior, e
25 um dispositivo de válvula de gaveta e um bocal submerso a ser provida por baixo do bocal superior, e verificou-se que as técnicas têm um certo nível de efeito de prevenção de adesão de inclusão. Entretanto, a posição, forma, velocidade, etc. da adesão de inclusão frequentemente variam por causa da diferença nas condições de lingotamento entre operações de lingotamento

individuais ou uma flutuação nas condições de lingotamento na mesma operação de lingotamento, de forma que é difícil impedir completamente a ocorrência de adesão de inclusão. Além disso, é necessário prover uma estrutura complicada para a injeção de gás e/ou a camada refratária resistente a adesão, em cada uma da pluralidade de regiões de bocal, quando o bocal é formada em uma estrutura integral (um bocal em peça única estendendo-se em uma direção de cima para baixo), ou em cada uma da pluralidade de bocais quando eles são formados em uma estrutura dividida (compreendendo um bocal superior e um bocal submerso alinhado em uma direção de cima para baixo). Isto leva a complexidade no processo de produção do bocal, e complexidade na operação e controle de lingotamento, que causa um aumento no custo.

Como medidas para o espalhamento de metal fundido descarregado pela extremidade inferior do bocal aberto, o documento de patente 3 seguinte propõe formar um furo interno para ter uma porção escalonada com uma forma específica, e o documento de patente 4 seguinte propõe formar um furo interno para ter uma porção cônica. Embora cada uma dos bocais abertos revelados nos documentos de patente 3, 4 apresentem um certo nível de efeito em um estágio inicial de uma operação de lingotamento em certas condições de lingotamento específicas, não são medidas suficientes para o espalhamento, em virtude de existirem problemas em que ocorre uma diferença no nível do efeito por causa da diferença ou flutuação nas condições de lingotamento, e o efeito será menor junto com um aumento no tempo decorrido da operação de lingotamento.

25 DOCUMENTO DA TÉCNICA ANTERIOR

DOCUMENTO DE PATENTE

Documento de patente 1 JP 2007-90423A

Documento de patente 2 JP 2002-96145A

Documento de patente 3 JP 11-156501A

Documento de patente 4 JP 2002-66699A

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

PROBLEMA A SER SOLUCIONADO PELA INVENÇÃO

É um objetivo da presente invenção prover um bocal capaz de
5 suprimir turbulência em uma corrente de metal fundido através de seu furo interno, com uma estrutura simples.

Mais especificamente, é um objetivo da presente invenção
prover um bocal capaz de estabilizar turbulência em uma corrente de metal
fundido que passa através de seu furo interno, ao mesmo tempo suprimindo
10 adesão de inclusão na superfície de parede do furo interno, desgaste da
superfície de parede do furo interno e espalhamento do metal fundido
descarregado pela extremidade inferior de um bocal aberto.

MEIOS PARA SOLUCIONAR O PROBLEMA

A presente invenção provê um bocal de descarga de metal
15 fundido formada com um furo interno para permitir a passagem de metal
fundido e projetada para ser instalada no fundo de um vaso de metal fundido
de maneira a descarregar metal fundido do vaso de metal fundido através do
furo interno. No bocal de descarga de metal fundido, a forma seccional
transversal da superfície de parede do furo interno, tomada ao longo de um
20 eixo do furo interno, compreende uma parte ou a totalidade de uma linha
curva expressa pela fórmula seguinte (1):
$$\log(r(z)) = (1/n) \times \log(Hc+L)/(Hc+z) + \log(r(L)) \quad (1) \quad (6 \geq n \geq 1,5),$$
 onde o
comprimento do bocal é (L), a altura da cabeça obtida pelo cálculo é H(Hc), e
o raio do furo interno em uma posição localizada para baixo a uma distância z
25 de uma extremidade superior do bocal, em que a coluna hidrostática de
cálculo Hc é expressa pela fórmula (2) seguinte: $Hc = ((r(L)/r(0))^n \times L) / (1 - (r(L)/r(0))^n)$ (2), onde: $6 \leq n \leq 1,5$; r(0) é o raio do furo interno na extremidade superior do bocal; e r(L) é o raio do furo interno na extremidade inferior do bocal. Adicionalmente, em um gráfico onde a distância z é plotada com

relação a um eixo horizontal (eixo X) da mesma, e a pressão de metal fundido no centro do furo interno na seção transversal horizontal em uma posição localizada a distância z é plotada com relação a um eixo vertical (eixo Y) do mesmo, uma fórmula de aproximação de uma linha no gráfico é estabelecida sem incluir simultaneamente dois ou mais coeficientes com sinais opostos, em que, considerando-se que a linha é derivada de uma fórmula de aproximação baseada em uma regressão linear, o valor absoluto do coeficiente de correlação da linha é 0,95 ou mais.

A presente invenção será especificamente descrita a seguir tomando-se, como um exemplo, um bocal (bocal de lingotamento contínuo) a ser instalada em uma abertura de descarga de aço líquido no fundo de um distribuidor que é um vaso de aço líquido como um tipo de vaso de metal fundido.

Os inventores observaram que turbulência em uma corrente de aço líquido que passa através do furo interno de um bocal é causado pela turbulência na distribuição de pressão de aço líquido no furo interno.

Com base em teorias de fluido gerais, uma corrente de aço líquido que escoar de um distribuidor através de um furo interno de um bocal, e uma pressão, etc. dentro do furo interno, são considerados dependentes da profundidade (coluna hidrostática real (altura)) H_m (vide figura 1) de um banho de aço líquido (doravante referido simplesmente como " H_m ", baseado caso a caso). Neste caso, H_m é constante, em virtude de o volume de aço líquido no distribuidor ser mantido aproximadamente constante durante uma operação de lingotamento. Assim, em teoria, a pressão de aço líquido a ser descarregado pelo bocal depende da constante H_m , de forma que ela deve ficar em um estado constante ou estável.

Entretanto, a partir de um resultado de simulação, e de um resultado de análise em um bocal submetido a uma operação de lingotamento real, demonstrou-se que, em operações de lingotamento reais, a pressão de

aço líquido em um furo interno de um bocal durante descarga de aço líquido pelo bocal é bastante alterado nas proximidades da extremidade superior do bocal, e a mudança de pressão desencadeia a ocorrência de turbulência em uma corrente de aço líquido.

5 Este fenômeno pode ser ilustrado esquematicamente, como mostrado na figura 2. Na figura 2, a linha 9 indica uma distribuição de pressão ideal com relação à distância para baixo da superfície superior do aço líquido. Entretanto, na realidade, como indicado pela linha 8 na figura 2, a pressão é bastante alterada nas proximidades da extremidade superior do bocal.

10 Demonstrou-se que a causa do fenômeno é como se segue. Uma corrente de aço líquido não é formada para escoar uniforme e diretamente de uma região ampla de um banho de aço líquido incluindo uma superfície de aço líquido dentro do distribuidor, em direção a uma extremidade superior do furo interno do bocal, mas escoar
15 multidirecionalmente das proximidades da superfície inferior do distribuidor adjacente à extremidade superior do furo interno do bocal, que é a entrada da passagem de descarga de aço líquido em direção ao furo interno. Além do mais, a velocidade de fluxo de cada uma das subcorrentes multidirecionais é relativamente alta, e ocorre colisão entre as subcorrentes multidirecionais e de
20 alta velocidade. Assim, como para a velocidade de fluxo e a pressão de aço líquido dentro do furo interno servindo como a passagem de descarga de aço líquido, é necessário levar em conta as subcorrentes que escoam das proximidades da superfície inferior do distribuidor em direção à extremidade superior do furo interno.

25 Foi demonstrado também que a formação de subcorrentes que escoam das proximidades da superfície inferior do distribuidor em direção à extremidade superior do furo interno e um fenômeno tal como uma flutuação de pressão causada pelas subcorrentes têm uma forte influência não somente na flutuação da corrente de aço líquido nas proximidades da extremidade

superior do furo interno, mas também em um estado de fluxo (estabilidade, turbulência, etc.) da corrente de aço líquido por toda a região inferior do furo interno.

Adicionalmente, os inventores observaram que a formação das subcorrentes que escoam das proximidades da superfície inferior do distribuidor em direção à extremidade superior do furo interno, e o fenômeno tal como flutuação de pressão, etc. causado pelas subcorrentes, são fortemente afetados pela configuração do furo interno, e o endireitamento do fluxo (estabilização da corrente de aço líquido, ou prevenção de turbulência na corrente de aço líquido) podem ser conseguidos formando o furo interno em uma configuração específica, como descrito a seguir.

O endireitamento do fluxo de aço líquido (estabilização da corrente de aço líquido, ou prevenção de turbulência em uma corrente de aço líquido) dentro do furo interno é determinado pela distribuição de pressões nas respectivas posições na direção de fluxo (isto é, em uma direção para cima-para baixo) do aço líquido dentro do furo interno. Em outras palavras, o endireitamento do fluxo é determinado por um estado de mudança na perda de energia em uma corrente de aço líquido em cada posição para baixo para fora da borda superior do bocal.

Fundamentalmente, energia para produzir uma velocidade de fluxo de aço líquido que passa através do furo interno do bocal é baseado em uma coluna hidrostática (altura hidrostática) de aço líquido dentro do distribuidor. Assim, a velocidade de fluxo ($v(z)$ de aço líquido em uma posição localizada a uma distância z para baixo da extremidade superior do bocal (a extremidade superior do furo interno) é expressa pela fórmula (3) seguinte:

$$v(z) = k (2g (H_m + z))^{1/2} \quad \text{----- (3)}$$

onde g é a aceleração gravitacional, H_m é a coluna hidrostática real (altura hidrostática real) e k é o coeficiente de fluxo.

Uma vazão Q de aço líquido que passa através do furo interno do bocal é um produto da velocidade de fluxo v e a área seccional transversal A do furo interno. Assim, a vazão Q é expressa pela fórmula (4) seguinte:

$$Q = v(L) \times A(L) = k(2g(H_m + L))^{1/2} \times A(L) \quad \text{---- (4)}$$

5 onde L é o comprimento do bocal, $v(L)$ é a vazão de aço líquido na extremidade inferior do bocal (a extremidade inferior do furo interno) e $A(L)$ é a área seccional transversal do furo interno na extremidade inferior do bocal.

A vazão Q é constante em uma seção transversal tomada ao longo de um plano perpendicular a um eixo do furo interno em qualquer posição dentro do furo interno. Assim, a área seccional transversal $A(z)$ em uma posição localizada na distância z para baixo da extremidade superior do bocal (a extremidade superior do furo interno) é expressa pela fórmula (5) seguinte:

$$15 \quad A(z) = Q / v(z) = k(2g(H_m + L))^{1/2} \times A(L) / k(2g(H_m + z))^{1/2} \quad \text{---- (5)}$$

Então, a fórmula (6) seguinte é obtida dividindo cada um dos lados direito e esquerdo da fórmula (5) por $A(L)$:

$$A(z) / A(L) = ((H_m + L) / (H_m + z))^{1/2} \quad \text{---- (6)}$$

$A(z)$ e $A(L)$ são expressos da seguinte maneira: $A(z) = \pi r(z)^2$, e $A(L) = \pi r(L)^2$, onde π é a razão da circunferência do círculo para seu diâmetro. Assim, a fórmula (6) é transformada como se segue:

$$A(z) / A(L) = \pi r(z)^2 / \pi r(L)^2 = ((H_m + L) / (H_m + z))^{1/2} \quad \text{---- (7)}$$

$$r(z) / r(L) = ((H_m + L) / (H_m + z))^{1/4} \quad \text{---- (8)}$$

Assim, o raio $r(z)$ do furo interno em uma posição localizada na distância z é expresso pela fórmula (9) seguinte:

$$25 \quad \log(r(z)) = (1/4) \times \log((H_m + L) / (H_m + z)) + \log(r(L)) \quad \text{---- (9)}$$

A perda de energia pode ser minimizada formando-se uma superfície de parede do furo interno em uma forma seccional transversal que satisfaz a fórmula (9).

De acordo com a fórmula (9), uma curva quadrática será plotada em um gráfico. Quando a superfície de parede do furo interno é feita em uma forma correspondente ao gráfico de acordo com a fórmula (9), a perda de pressão de aço líquido pode também ser minimizada. Além do mais, na forma que satisfaz a fórmula (9), a pressão do aço líquido é gradualmente (suavemente) reduzida à medida que a posição localizada na distância z para baixo da extremidade superior do bocal (a extremidade superior do furo interno) diminui, de forma que o estado de endireitamento do fluxo é estabelecido.

10 A fórmula anterior para calcular a distribuição de pressão usando o H_m é estabelecida supondo-se que o aço líquido escoar para a extremidade superior do furo interno uniformemente e diretamente em uma direção aproximadamente vertical de acordo com a pressão da coluna hidrostática da superfície de aço líquido no distribuidor.

15 Entretanto, em operações de lingotamento reais, uma corrente de aço líquido é formada para escoar multidirecionalmente das proximidades da superfície inferior do distribuidor adjacente à extremidade superior do bocal, servindo com a entrada da passagem de descarga de aço líquido, em direção ao furo interno, como anteriormente descrito. Assim, como um pré-requisito para determinar precisamente uma distribuição de pressão real no furo interno, é necessário usar uma coluna hidrostática com uma grande influência no fluxo de aço líquido das proximidades da superfície inferior do distribuidor adjacente à extremidade superior do bocal no lugar de H_m .

25 Portanto, os inventores realizaram estudos com base em várias simulações. Em decorrência disto, os inventores observaram que é efetivo usar o valor de H_m a ser obtido estabelecendo-se a distância z em zero na fórmula (9), como a coluna hidrostática (altura hidrostática) H_c para o cálculo, isto é, coluna hidrostática de cálculo H_c (doravante referida simplesmente como " H_c " com base caso a caso).

Especificamente, o H_c pode ser expresso pela fórmula (10) seguinte:

$$H_c = ((r(L) / r(0))^4 \times L) / (1 - (r(L) / r(0))^4) \quad \text{---- (10)}$$

Como visto na fórmula (10), H_c é definido por uma razão do raio $r(L)$ do furo interno na extremidade inferior do bocal para o raio $r(0)$ do furo interno na extremidade superior do bocal, e o comprimento L do bocal. Esta coluna hidrostática de cálculo H_c tem influência na pressão de aço líquido dentro do furo interno do bocal da presente invenção. Em outras palavras, a forma seccional transversal da superfície de parede do furo interno usando H_c no lugar de H_m na fórmula (9) possibilita suprimir uma mudança de pressão rápida ou abrupta que de outra forma ocorreria adjacente à extremidade superior do furo interno.

A fórmula (10) pode ser transformada na fórmula (11) seguinte para expressar a razão do $r(0)$ para o $r(L)$, em vez de H_c :

$$r(0) / r(L) = ((H_c + L) / (H_c + 0))^{1/4} \quad \text{---- (11)}$$

O H_c está ilustrado na figura 1 que é uma vista seccional axial esquemática mostrando um vaso de aço líquido (distribuidor) e um bocal (bocal de lingotamento contínuo). Na figura 1, o bocal 1 tem um furo interno 4 para permitir passagem de aço líquido. O número de referência 5 indica a porção de maior diâmetro do furo interno (com um raio $r(0)$) em uma extremidade superior 2 do bocal, e o número de referência 6 indica a porção de menor diâmetro do furo interno (com um raio $r(L)$) na extremidade inferior 3 do bocal. O furo interno tem uma superfície de parede 7 estendendo-se da porção de maior diâmetro 5 até a porção de menor diâmetro 6. A extremidade superior 2 do bocal é a origem (ponto zero) da distância supramencionada z .

Como anteriormente, a forma seccional transversal da superfície de parede do furo interno usando H_c no lugar de H_m na fórmula (9) possibilita reduzir contínua e gradualmente a distribuição de pressão no centro do furo interno do bocal com relação à direção da altura de maneira a

estabilizar a corrente de aço líquido e produzir uma corrente de aço líquido suave (constante) com menos perda de energia. Adicionalmente, os inventores conduziram uma análise de fluido baseada em uma simulação de computador como um meio para avaliar a estabilidade e suavidade da corrente de aço líquido. Em decorrência disto, os inventores observaram que é efetivo obter uma pressão de aço líquido no centro do furo interno em seção transversal horizontal em uma posição localizada na distância z para baixo da extremidade superior do bocal (a extremidade superior do furo interno).

Esta simulação foi realizada usando software de análise de fluido (nome comercial "Fluent" Ver. 6.3.26 produzido pela Fluent Inc.). Parâmetros de entrada no software de análise de fluido são os seguintes:

- Número de células de cálculo: cerca de 120.000 (em que o número pode variar dependendo do modelo);
- Fluido: água (em que verificou-se que a avaliação para o aço líquido pode também ser feita de uma maneira comparativa);
- densidade = $998,2 \text{ kg/m}^3$
- viscosidade = $0,001003 \text{ kg/m.s}$
- Coluna hidrostática (Hm); 600 mm
- Pressão: entrada (superfície de aço líquido) = $((700 + \text{comprimento (mm) do bocal}) \times 9,8) \text{ Pa}$ (pressão manométrica).
- saída (extremidade inferior do bocal) = zero Pa.
- Comprimento do bocal: 120 mm, 230 mm, 800 mm (vide tabela 1)
- Modelo viscoso: cálculo K-ômega.

Em decorrência de análises de fluido com detalhes, os inventores observaram que, em um gráfico onde a distância z para baixo da extremidade superior do bocal (a extremidade superior do furo interno) é plotada com relação ao seu eixo horizontal (eixo X), e a pressão de aço líquido no centro do furo interno na seção transversal horizontal em uma

posição localizada na distância z é plotada com relação ao seu eixo vertical (eixo Y) (este gráfico será a seguir referido como "gráfico de pressão Z "), a forma da linha no gráfico de pressão z tem uma influência crítica na estabilidade (prevenção de turbulência) da corrente de aço líquido, exigida para atingir o objetivo da presente invenção.

Especificamente, o bocal da presente invenção é distinguido em que ela é configurada para eliminar uma região que causa uma mudança abrupta na pressão no gráfico de pressão z de maneira a permitir que a pressão seja suavemente reduzida junto com um aumento na distância z (se houver uma região que causa uma mudança abrupta na pressão com relação a um aumento na distância Z , a região desencadeia a ocorrência de turbulência na corrente de metal fundido que escoar para baixo dela).

Em outras palavras, o bocal da presente invenção é configurado de maneira tal que a linha plotada no gráfico de pressão z tenha uma forma aproximadamente reta (vide, por exemplo, figura 6(a)) ou uma forma curva tipo um arco suave (vide, por exemplo, figura 6(b)). Significa que a linha não tem uma região onde ocorre uma mudança abrupta na curvatura ou direção, como em uma linha com uma forma similar a um caractere alfabético "S", "C", "L" ou similares (vide, por exemplo, figuras 6(c), 7A, 7B, 7C e 7D).

Mais especificamente, em casos onde a linha plotada de acordo com uma fórmula de aproximação tem uma região onde ocorre uma mudança abrupta na direção ou curvatura, a linha inclui uma pluralidade de linhas de regressão linear (o valor absoluto do coeficiente de correlação é 0,95 ou mais) ou uma pluralidade de curvas não lineares (linhas curvas não lineares). Em uma avaliação, para a presente invenção, de tais curvas em termos de coeficiente da linha de regressão, uma pluralidade de curvas de aproximação é derivada quando uma regressão não linear é aplicada na região que estende-se da extremidade superior do bocal (isto é, $z = 0$) até uma

posição localizada a uma certa distância para baixo na extremidade superior do bocal, em que os coeficientes (as constantes) das curvas com relação ao valor do eixo X não tem sinais opostos (positivo/negativo) na mesma curva (por exemplo, como um caso indesejável, a curva na figura 6(c), traçando um relacionamento entre a distância z e a pressão inclui três curvas de aproximação não linear A, B, C nas respectivas regiões definidas dividindo de forma aproximadamente igual a distância z em três partes, em que a fórmula de aproximação das curvas A e B ou das curvas B e C inclui dois coeficientes com sinais opostos (positivo/negativo). Assim, é necessário que a própria linha no gráfico de pressão z não inclua simultaneamente coeficientes de sinais opostos (positivo/negativo), com relação ao valor do eixo X.

Em vista da obtenção da corrente de aço líquido mais estável, é necessário que a linha no gráfico de pressão z tenha um certo nível de linearidade, preferivelmente, uma forma infinitamente próxima de uma linha reta. Como um critério para avaliação da linearidade da linha, um valor absoluto do coeficiente de correlação da linha tem que ser 0,95 ou mais, considerando-se que a linha é derivada de uma fórmula de aproximação baseada em regressão linear. Se o bocal tiver uma região que causa uma mudança abrupta na pressão de aço líquido dentro de um furo interno, o valor absoluto do coeficiente de correlação considerando-se que a linha no gráfico de pressão z é derivada de uma fórmula de aproximação baseada em uma regressão linear, torna-se menor. Se o valor absoluto for menor que 0,95, ocorrerá turbulência na corrente de aço líquido a um ponto tal que ela causa dificuldade de se atingir o objetivo da presente invenção.

O valor citado foi determinado a partir de resultados obtidos por uma simulação usando o Fluent supramencionado, e um teste experimental, tal como um teste em uma operação de lingotamento real.

Adicionalmente, com base nos resultados da simulação e outros, os inventores observaram que o endireitamento de fluxo pode ser

conseguido mesmo se o grau "4" na fórmula (9) e (10) for estabelecido na faixa de 1,5 a 6 para determinar a linha curva. Assim, substituindo o grau com "n", a fórmula (9) e a fórmula (10) podem ser expressas como a fórmula (1) e a fórmula (2) seguintes, respectivamente:

$$5 \quad \log(r(z)) = (1/n) \times \log((H_c + L) / (H_c + z)) + \log(r(L)) \quad \text{---- (1)}$$

$$\text{onde } 6 \geq n \geq 1,5$$

$$H_c = ((r(L) / r(0))^n \times L) / (1 - (r(L) / r(0))^n) \quad \text{---- (2)}$$

$$\text{onde } 6 \geq n \geq 1,5.$$

10 Se o valor de n for menor que 1,5 ou maior que 6, ocorrerá uma mudança abrupta na linha no gráfico de pressão z (vide o exemplo mencionado a seguir).

A superfície de parede de um furo interno de um bocal baseado nas fórmulas (1) e (2) tem uma configuração ilustrada esquematicamente nas figuras 3(a) e 3(b). As figuras 3(a) e 3(b) mostram um bocal superior 1a, em que a figura 3(a) é uma vista seccional vertical e a
15 figura 3(b) é um diagrama cúbico. Nas figuras 3(a) e 3(b), o número de referência 10 indica uma configuração da superfície de parede do furo interno quando $n = 1,5$, e o número de referência 11 indica uma configuração da superfície de parede do furo interno quando $n = 6$.

20 Preferivelmente, a configuração da superfície de parede do furo interno do bocal da presente invenção baseada nas fórmulas (1) e (2), em que uma linha no gráfico de pressão z atende as dadas exigências (a linha é uma linha curva suave, e o valor absoluto do coeficiente de correlação da linha de regressão linear é 0,95 ou mais) é formada por todo o comprimento
25 do furo interno. Alternativamente, a configuração pode ser formada em pelo menos uma parte da superfície de parede estendendo-se para baixo da extremidade superior do furo interno. Com base no exemplo mencionado a seguir, verificou-se que, mesmo se o bocal (passagem de aço líquido) tiver uma porção de extensão que estende-se adicionalmente para baixo de uma

porção com a configuração anterior, a estabilidade de uma corrente de aço líquido com fluxo endireitado pela configuração de acordo com a presente invenção é mantida com o efeito de endireitamento de fluxo intacto (vide exemplo B).

5 EFEITO DA INVENÇÃO

Em um bocal para descarregar aço líquido de um vaso de metal fundido, o fluxo de metal fundido dentro de um furo interno do bocal pode ser estabilizado sem turbulência. Isto possibilita suprimir a ocorrência de adesão de inclusões em uma superfície de parede do furo interno, desgaste
10 localizado da superfície de parede do furo interno, etc., de maneira a permitir que uma operação de descarga de metal fundido em um estado de fluxo estável seja mantida por um longo período de tempo. Além do mais, torna-se possível suprimir o espalhamento do metal fundido descarregado por uma extremidade inferior de um bocal aberto.

15 Adicionalmente, o bocal da presente invenção só pode ser obtida formando a superfície de parede do furo interno em uma configuração adequada, sem a necessidade de prover um mecanismo particular, tal como um mecanismo de injeção de gás, de forma que o bocal pode ser facilmente produzida com uma estrutura simples para favorecer a redução de custo.

20 DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

A figura 1 é uma vista seccional axial esquemática mostrando um vaso de aço líquido (distribuidor) e um bocal (bocal de lingotamento contínuo).

25 A figura 2 é um gráfico mostrando esquematicamente a distribuição de pressão de metal fundido dentro do vaso de metal fundido e o bocal.

As figuras 3(a) e 3(b) ilustram esquematicamente uma configuração de uma superfície de parede de um furo interno de um bocal da presente invenção, em que a figura 3(a) é uma vista seccional vertical, e a

figura 3(b) é um diagrama cúbico.

A figura 4 é uma vista seccional axial esquemática mostrando um bocal superior (em um exemplo onde uma válvula de gaveta é provida por baixo dela, em que um bocal intermediário ou um bocal inferior pode ser provido entre o válvula de gaveta e um bocal submersa por baixo do válvula de gaveta).

A figura 5 é uma vista seccional axial esquemática mostrando um bocal aberto.

As figuras 6(a) a 6(c) ilustram esquematicamente uma linha em um gráfico de pressão z, em que as figuras 6(a), 6(b) e 6(c) mostram um exemplo de uma linha reta, um exemplo de uma linha curva em forma de arco suave, e um exemplo de uma linha incluindo uma pluralidade (no exemplo ilustrado, três) de curvas de aproximação com diferentes coeficientes (positivo/negativo), respectivamente.

A figura 7A é um gráfico de pressão z em uma amostra comparativa 1.

A figura 7A é um gráfico de pressão z em uma amostra comparativa 2.

A figura 7C é um gráfico de pressão z em uma amostra comparativa 3.

A figura 7D é um gráfico de pressão z em uma amostra comparativa 4.

A figura 7E é um gráfico de pressão z em uma amostra inventiva 1.

A figura 7F é um gráfico de pressão z em uma amostra inventiva 2.

A figura 7G é um gráfico de pressão z em uma amostra inventiva 3.

A figura 7H é um gráfico de pressão z em uma amostra

inventiva 4.

A figura 7I é um gráfico de pressão z em uma amostra

inventiva 5.

A figura 7J é um gráfico de pressão z em uma amostra

5 inventiva 6.

A figura 7K é um gráfico de pressão z em uma amostra comparativa 5.

A figura 7L é um gráfico de pressão z em uma amostra

inventiva 7.

10

A figura 7M é um gráfico de pressão z em uma amostra

inventiva 8.

A figura 8A é um gráfico de pressão z em uma amostra

comparativa 6.

A figura 8B é um gráfico de pressão z em uma amostra

15

comparativa 7.

A figura 8C é um gráfico de pressão z em uma amostra

inventiva 9.

A figura 8D é um gráfico de pressão z em uma amostra

inventiva 10.

20

DESCRIÇÃO DE MODALIDADES

Uma modalidade da presente invenção será agora descrita com exemplos com base em um resultado de simulação e um resultado de análise em uma operação de lingotamento real.

EXEMPLOS

25

EXEMPLO A

O exemplo A é um resultado de simulação de um bocal aberto (vide figura 5) sem dispositivo de controle de vazão na sua passagem de fluxo, como um exemplo de um bocal para descarregar aço líquido de um distribuidor em um molde abaixo do distribuidor. A tabela 1 mostra condições

e resultados.

TABELA 1

			amostra	amostra
			1	1
Configuração do furo interno	*1	$r(0)$		
	*1	$r(L)$		
	*1	$r(0)/r(L)$		
	*1	n		
	*1	Hc		
	*1	L (mm)		
Relacionamento entre a distância z e a pressão	*2	forma da linha		
	*2-1	coeficiente de correlação da regressão linear		
	*2-1	avaliação da linha		
	*2	figura		
Teste de espalhamento	*3	avaliação visual		

* Parâmetros nas fórmulas 1 e 2

5 *2 Uma linha em um gráfico de pressão z baseada em uma simulação

2-1 Coeficiente de correlação (truncado em três casas decimais) quando é derivada uma fórmula de aproximação é derivada baseada em uma regressão linear para a linha no gráfico de pressão z

10 2-2 Avaliação da forma da linha no gráfico de pressão z. O = boa (forma para uma corrente estável sem perturbação) x = ruim (forma para uma corrente com turbulência)

15 *3 Um estado de espalhamento na extremidade inferior do bocal em um teste de água (resultado de observação relativa visual) O = espalhamento de insignificante a nulo. x = espalhamento de grande a significativo

- não verificado

Esta simulação foi feita usando o software de análise de fluido supramencionada (nome comercial "Fluent Ver. 6.3.26 produzido pela Fluent Inc.). Parâmetros de entrada no software de análise de fluido são como

anteriormente descrito.

As figuras 7A a 7M mostram gráficos de pressão z obtidos pela simulação para cada uma das amostras na tabela 1. Mais especificamente, em cada uma das figuras 7A a 7M, a distância z para baixo da extremidade superior de um bocal (a extremidade superior de um furo interno) é plotada com relação ao seu eixo horizontal (eixo X), e a pressão de aço líquido no centro do furo interno na seção transversal horizontal em uma posição localizada na distância z é plotada com relação ao seu eixo vertical (eixo Y), com base no resultado de simulação em cada amostra na tabela 1. A pressão é um valor relativo, e assim seu valor absoluto oscila para cima e para baixo, dependendo das condições.

Cada uma das amostras 1 a 8 é um bocal de acordo com a presente invenção, isto é, um bocal preparado usando as fórmulas 1 e 2. Entre elas, as amostras inventivas 1, 2, 5 e 6 foram preparadas mudando n na fórmula 1 para verificar a influência de n . Quando n é estabelecido em 1,5 (a amostra inventiva 1: figura 7E) e 2 (a amostra inventiva 2: figura 7F), uma linha no gráfico de pressão z é plotada como uma linha em arco suave, e não é observada região de inflexão. Adicionalmente, à medida que n aumenta de 1,5 para 2, a curvatura do arco fica mais suave, e a linha aproxima-se de uma linha reta. Além do mais, não exige região de inflexão em cada uma das linhas em arco.

Como visto nas figuras 7I a 7J, quando n é estabelecido em 4 (a amostra inventiva 5: figura 7I) e 6 (a amostra inventiva 6: figura 7J), a linha no gráfico de pressão z tem uma forma aproximadamente reta. Adicionalmente, quando o coeficiente de correlação é verificado considerando-se que cada uma das linhas é derivada de uma fórmula de aproximação baseada em uma regressão linear, o coeficiente de correlação é aumentado de -0,95, -0,97 para -0,99, -0,99, junto com um aumento em n , isto é, observa-se forte correlação.

Como antes, a linha no gráfico de pressão z não tem região de inflexão, e a pressão aumenta gradualmente com o aumento na distância z . Isto mostra que o estado de fluxo estável é obtido sem turbulência por toda a passagem de fluxo do furo interno.

5 Cada uma das amostras inventivas 3, 4 e 5 foi usada para verificar a influência da razão $r(L)/r(0)$, isto é, a razão do raio do furo interno na extremidade superior do bocal para o raio do furo interno na extremidade inferior do bocal, e o estado de fluxo (uma linha no gráfico de pressão z), quando $n = 4$. Nessas amostras, cada linha nos gráficos de pressão z (figuras 7G e 7I) tem uma forma aproximadamente reta sem uma região de inflexão, e o coeficiente de correlação é -0,99. Assim, não é observada influência na razão $r(L)/r(0)$.

15 Cada uma das amostras inventivas 7 e 8 foi usada para verificar a influência do raio $r(L)$, o raio $r(0)$ e o comprimento do bocal L , quando cada um do raio $r(L)$ e do raio $r(0)$ for maior que o das amostras inventivas 1 a 6, e o comprimento do bocal L for estendido cerca de 7 vezes para baixo. Neste caso, n foi estabelecido em 4, e a razão $r(L)/r(0)$ foi estabelecida em 2 e 2,5, que corresponde às condições para as amostras inventivas 3 e 4. Como visto pelos gráficos de pressão z (figuras 7L e 7M), cada uma da razão $r(L)/r(0)$ e do comprimento do bocal L não tem influência no estado de fluxo.

25 Nas amostras inventivas apresentadas, cada linha nos gráficos de pressão z tem uma forma aproximadamente reta sem uma região de inflexão, e o coeficiente de correlação é cerca de -0,95 ou mais. Assim, não é observada influência da razão $r(L)/r(0)$ e do comprimento do bocal L . Isto mostra que, se não houver região de inflexão em uma linha no gráfico de pressão z , e o valor absoluto do coeficiente de correlação em uma fórmula de aproximação para uma regressão linear da linha for 0,95 ou mais, pode-se manter um estado de fluxo estável de aço líquido sem turbulência, mesmo se

o comprimento do bocal for estendido para baixo.

Diferentemente das amostras inventivas anteriores, cada uma das amostras comparativas 4 e 5 é um bocal onde n não é na faixa definida na presente invenção.

5 Na amostra comparativa 4 onde $n = 1,0$, como mostrado na figura 7D, a linha no gráfico de pressão z é uma linha curva similar a duas linhas retas que têm inclinações bastante diferentes e cruza em um ângulo quase reto, embora não tenha uma região de inflexão em forma de S. Assim, neste caso, é altamente provável que ocorra turbulência indesejavelmente em
10 uma corrente de aço líquido para baixo de uma posição correspondente até as proximidades da região de cruzamento, por causa de uma ligeira flutuação nas condições de lingotamento.

Na amostra comparativa 5 onde $n = 7,0$, mostrado na figura 7K, observa-se uma região de inflexão em forma de S em uma linha no
15 gráfico de pressão z , embora não seja significativamente grande. Isto significa que os respectivos coeficientes para uma curva de aproximação nas proximidades de cada uma das extremidades superior e inferior do furo interno e uma curva de aproximação em uma porção intermediária do furo interno têm sinais opostos (positivo/negativo), de forma que é altamente
20 provável ocorrer turbulência em uma corrente de aço líquido de uma posição correspondente às proximidades de um limite entre elas. Portanto, n precisa ser na faixa de 1,5 a 6.

A amostra comparativa 1 é um bocal com um furo interno formado em uma configuração reta estendendo-se da extremidade superior até
25 sua extremidade inferior, isto é, uma configuração cilíndrica. A amostra comparativa 2 é um bocal com um furo interno formado em uma configuração cônica, e a amostra comparativa 3 é um bocal com um furo interno formado em uma configuração em arco, com $R = 47$. Em cada uma dessas amostras comparativas, uma linha no gráfico de pressão z (figuras 7A a 7C) tem uma

região de inflexão em forma de S significativa, e turbulência na corrente de aço líquido ocorrerá de uma posição correspondente até as proximidades da região de inflexão.

Um corpo de prova foi preparado para cada uma das amostras no exemplo A, e o estado de descarga de água de um tanque de água com uma profundidade de cerca de 600 mm foi visualmente observado. Em decorrência disto, espalhamento em cada uma das amostras inventivas foi pequeno, ou a um nível incapaz de ser visualmente observado, ao passo que, em cada uma das amostras comparativas, o espalhamento ocorreu a um nível capaz de ser constante ou intermitentemente observado visualmente (vide o número de referência 15 na figura 5).

EXEMPLO B

O exemplo B é um resultado de simulação e um resultado de um teste de verificação em uma operação de lingotamento real, de uma assim denominado bocal superior SN com um dispositivo de controle de vazão (dispositivo de válvula de gaveta (SN)) na sua passagem de fluxo, como um exemplo do bocal para descarregar aço líquido de um distribuidor em um molde abaixo do distribuidor. Neste caso, é formada uma passagem de fluxo de aço líquido em um bocal superior (vide 1a na figura 4), um dispositivo de válvula de gaveta (vide 12 na figura 4), um bocal inferior (embora não ilustrada na figura 4 fica localizado entre o dispositivo de válvula de gaveta 12 e um bocal submersa mencionada a seguir 13) e o bocal submersa (vide o número de referência 13 na figura 4) nesta ordem para baixo do distribuidor. Em casos onde o bocal inferior e o bocal submerso são integrados (como mostrado na figura 4), podem ser consideradas as mesmas condições daquelas do exemplo B.

A tabela 2 mostra as condições e resultados. Na simulação no exemplo B, o grau de área aberta, ou abertura, no dispositivo de controle de vazão é estabelecido em 50 %. As demais condições foram as mesmas

daquelas do exemplo A.

TABELA 2

			amostra	amostra
			1	1
Configuração do furo interno	*1	$r(0)$		
	*1	$r(L)$		
	*1	$r(0)/r(L)$		
	*1	n		
	*1	H_c		
	*1	L (mm)		
Relacionamento entre a distância z e a pressão	forma da linha	*2	inflexão	inflexão
	Coefficiente de correlação da regressão linear	*2-1	-	-
	Avaliação da linha	*2-2	x	x
	Figura	*2	figura 8A	figura 8B
Operação real	Espessura da camada aderida (mm)	*4	20	-

*1: Parâmetros nas fórmulas 1 e 2 (em que a posição da extremidade inferior de L é uma superfície de extremidade superior de uma chapa inferior de um dispositivo de válvula de gaveta)

*2: Uma linha em um gráfico de pressão z baseada em uma simulação

2-1: Coeficiente de correção (truncado em três casas decimais) quando a fórmula é derivada com base em uma regressão linear para a linha na aproximação do gráfico de pressão z

2-2 Avaliação da forma da linha no gráfico de pressão z . O = boa (forma para uma corrente estável sem turbulência) x = ruim

*4 Espessura média de uma camada a base de alumina aderida na superfície de parede do furo interno durante uma operação de lingotamento real

As figuras 8A a 8D mostram gráficos de pressão z obtidos pela simulação para cada uma das amostras na tabela 2. Mais especificamente, em

cada uma das figuras 8A a 8D, a distância z para baixo de uma extremidade superior do bocal (a extremidade superior do furo interno) é plotada com relação ao seu eixo horizontal (eixo X), e a pressão de aço líquido no centro do furo interno em seção transversal horizontal em uma posição localizada na distância z é plotada com relação ao seu eixo vertical (eixo Y), com base no resultado de simulação em cada amostra na tabela 2. A pressão é um valor relativo, e assim um valor absoluto desloca para cima e para baixo, dependendo das condições.

Cada uma das amostras 9 e 10 é um bocal de acordo com a presente invenção, isto é, um bocal preparada usando as fórmulas 1 e 2. Nessas amostras inventivas, cada linha dos gráficos de pressão z (figuras 8C e 8D) tem uma forma aproximadamente reta sem uma região de inflexão e o valor absoluto do coeficiente de correlação de uma linha de regressão linear é 0,99.

A amostra comparativa 7 é um bocal com um furo interno formado em uma configuração próxima a uma coluna circular, onde a razão $r(L) / r(0)$ é 1,1, embora a superfície de parede do furo interno seja estabelecida com base nas fórmulas 1 e 2 como com as amostras inventivas 9 e 10. Na amostra comparativa 7, mostrada na figura 8B, é observada uma região de inflexão em uma linha no gráfico de pressão z , que mostra a existência de turbulência na corrente de aço líquido. Isto mostra que o bocal atendendo somente as exigências das fórmulas 1 e 2 provavelmente terá dificuldade em suprimir turbulência em uma corrente de aço líquido e, portanto, é necessário determinar uma configuração específica da superfície de parede do furo interno, levando-se ainda em conta a forma da linha no gráfico de pressão z .

A amostra comparativa 6 é um bocal convencional onde a superfície de parede do seu furo interno tem uma configuração cônica. Nesta amostra, a linha do gráfico de pressão z tem uma região de inflexão em forma de S, mostrado na figura 8A, e ocorrerá turbulência na corrente de aço líquido

a partir de uma posição correspondente às proximidades da região de inflexão.

O bocal da amostra inventiva 10 foi aplicada a uma operação de lingotamento real no lugar do bocal da amostra comparativa 6 que foi usada nela. As condições da operação de lingotamento foram estabelecidas como se segue: coluna hidráulica real (altura do aço líquido) no distribuidor =
5 cerca de 800 mm, taxa de descarga de aço líquido - cerca de 1 a 2 t/min, e tempo de lingotamento (descarga de aço): cerca de 60 minutos.

Como um resultado de teste na operação de lingotamento real, na amostra inventiva 10, um estado de lingotamento significativamente
10 estável (com um pequeno número de ajustes para o grau de abertura) poderia ser mantido sem nenhuma adesão de inclusão e desgaste localizado em toda a região de uma parede interna do bocal superior até o bocal submerso no lado inferior. Isto mostra que estabilidade de uma corrente de aço líquido com fluxo endireitado pelo furo interno com a configuração de acordo com a
15 presente invenção é mantida com o efeito de endireitamento do fluxo intato, mesmo se o bocal (passagem de fluxo de aço líquido) tiver uma porção de extensão que estende-se adicionalmente para baixo do furo interno com a configuração.

Diferentemente da amostra inventiva, na amostra comparativa
20 6, uma camada de adesão a base de alumina com uma espessura média de 20 mm (vide o número de referência 14 na figura 4) foi formada em uma ampla faixa de uma parede interna do bocal superior até o bocal submersa do lado inferior, para causar um estado de lingotamento instável (com um grande número de ajustes do grau de abertura).

25

EXPLICAÇÃO DOS CÓDIGOS

1: bocal

1a: bocal aberto

1b: bocal superior

2: extremidade superior do bocal

- 3: extremidade inferior do bocal
- 4: furo interno
- 5: porção de maior diâmetro do furo interno
- 6: porção de menor diâmetro do furo interno
- 5 7: superfície de parede do furo interno
- 8: (esquemático) curva de distribuição de pressão de aço líquido na região entre o vaso de aço líquido real e o interior do bocal
- 9: (esquemático) curva de distribuição de pressão de aço líquido ideal na região do vaso de aço líquido até o interior do bocal
- 10 10: configuração de superfície de parede do furo interno quando $n = 1,5$
- 11: configuração de superfície de parede do furo interno quando $n = 6$
- 15 12: dispositivo de controle de vazão (dispositivo de válvula de gaveta)
- 13: bocal submerso
- 14: (esquemático) estado da camada aderida
- 15: (esquemático) estado de espalhamento de aço líquido

REIVINDICAÇÕES

1. Bocal de descarga de metal fundido formada com um furo interno para permitir passagem de metal fundido e projetado para ser instalado no fundo de um vaso de metal fundido de maneira a descarregar metal fundido do vaso de metal fundido através do furo interno, caracterizado pelo fato de que:

a forma seccional transversal da superfície de parede do furo interno, tomada ao longo do eixo do furo interno, compreende uma parte o a totalidade de uma linha curva expressa pela fórmula (1) seguinte:

10 $\log(r(z)) = (1/n) \times \log(Hc+L)/(Hc+z) + \log(r(L))$ (1), onde ($6 \geq n \geq 1,5$), L é o comprimento do bocal, Hc é a coluna hidrostática de cálculo e r(z) é o raio do furo interno em uma posição localizada a uma distância z para baixo da extremidade superior do bocal, a coluna hidrostática de cálculo Hc sendo expressa pela fórmula (2) seguinte:

15 $Hc = ((r(L)/r(0))^n \times L) / (1 - (r(L)/r(0))^n)$ (2), onde: $6 \leq n \leq 1,5$; r(0) é o raio do furo interno na extremidade superior do bocal; e r(L) é o raio do furo interno na extremidade inferior do bocal,

e em que, em um gráfico onde a distância z é plotada com relação ao seu eixo horizontal (eixo X), e a pressão de metal fundido no centro do furo interno na seção transversal horizontal em uma posição localizada na distância z é plotada com relação ao seu eixo vertical (eixo Y), uma fórmula de aproximação de uma linha no gráfico é estabelecida sem incluir simultaneamente dois ou mais coeficientes com sinais opostos, e em que, considerando-se que a linha é derivada de uma fórmula de aproximação baseada em uma regressão linear, o valor absoluto do coeficiente de correlação da linha é 0,95 ou mais.

FIG. 1

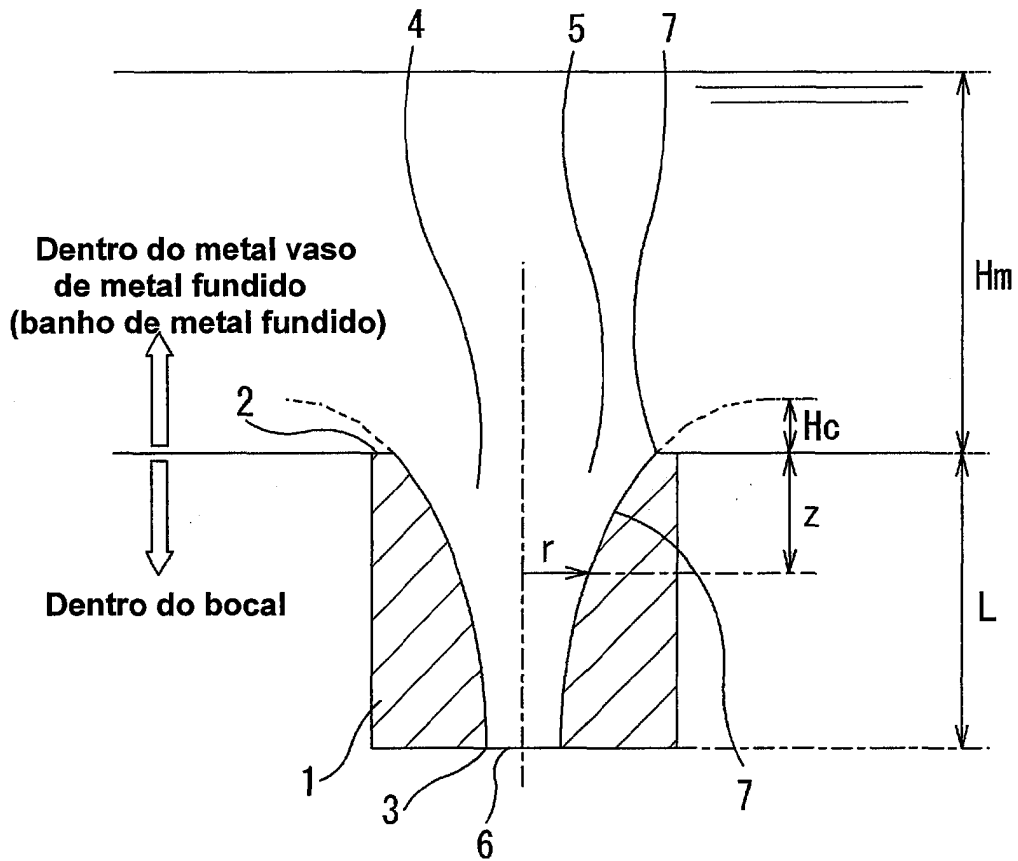


FIG. 2

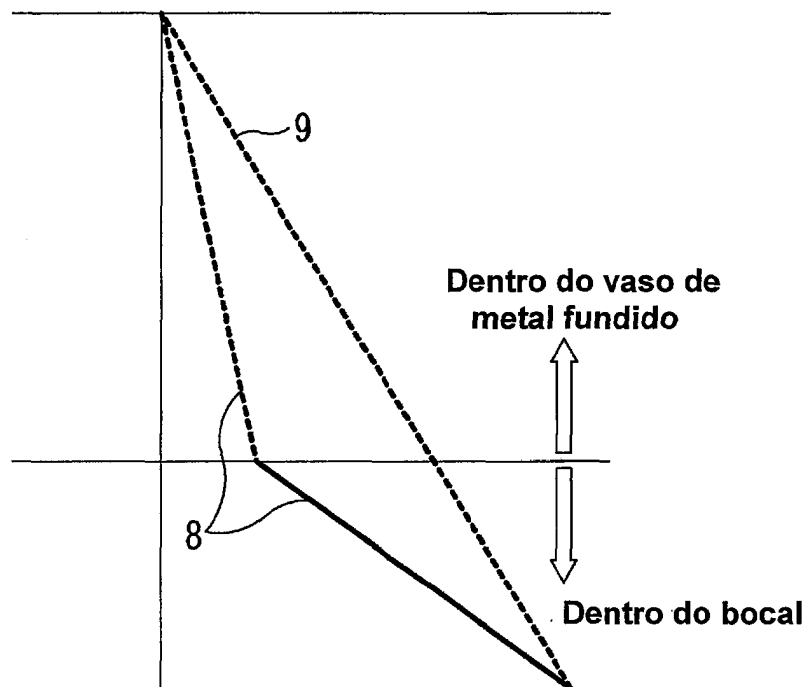


FIG. 3

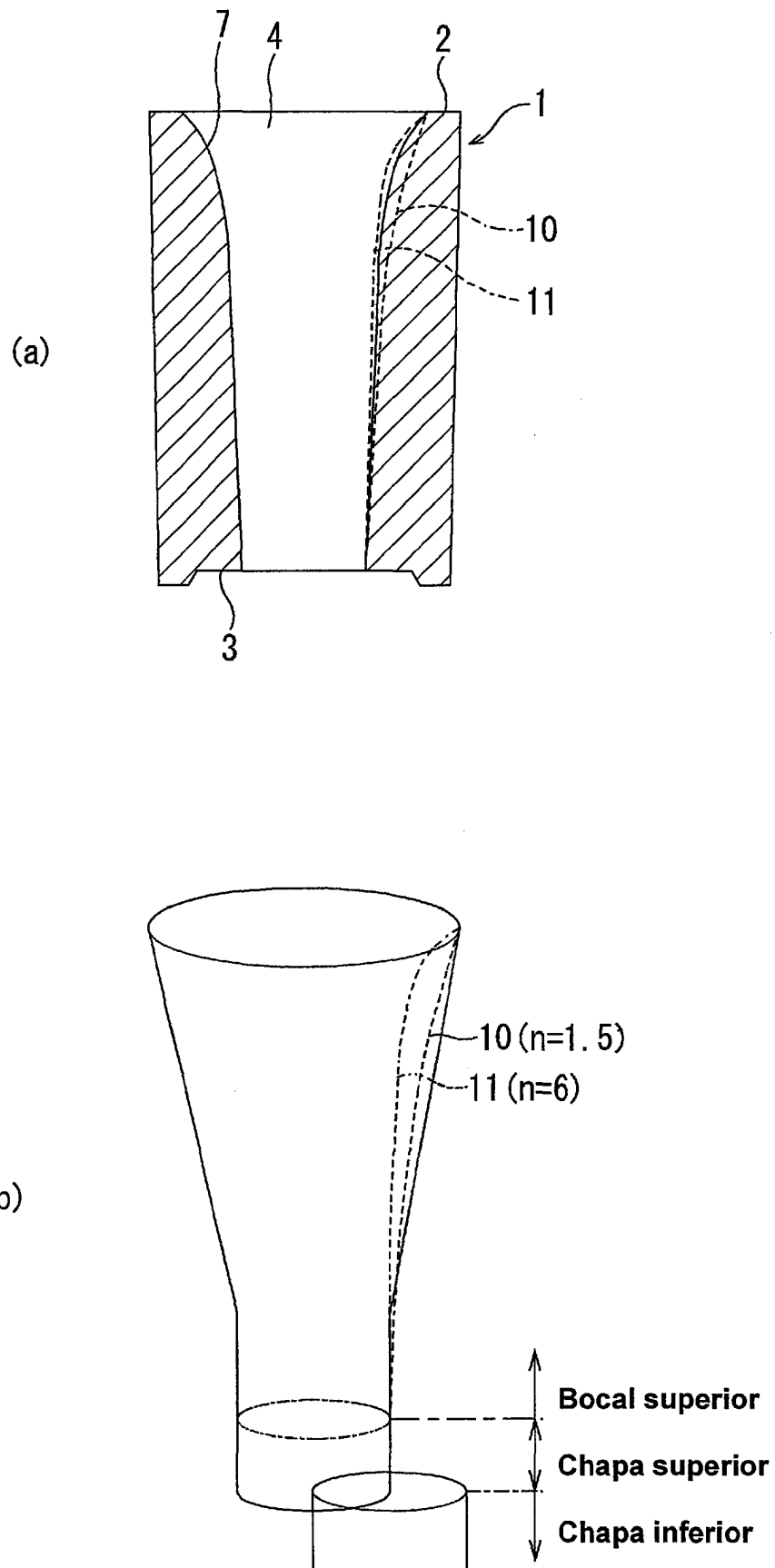


FIG. 4

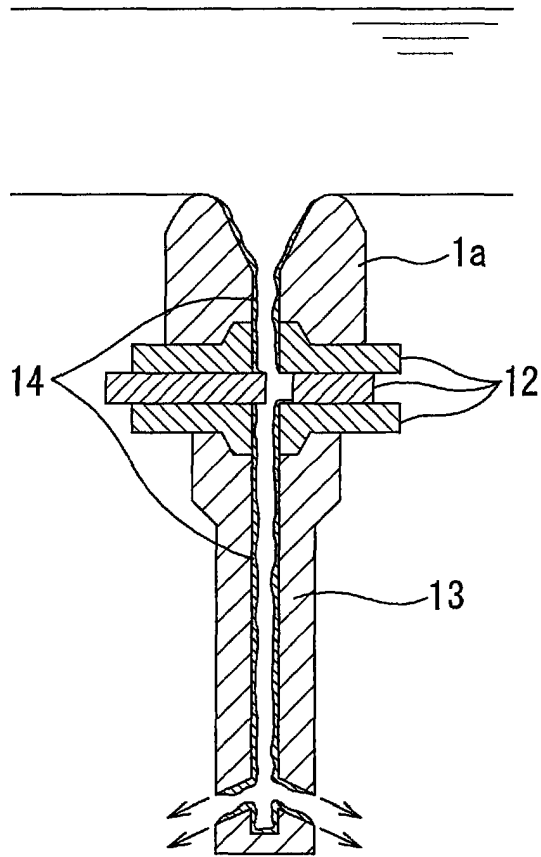


FIG. 5

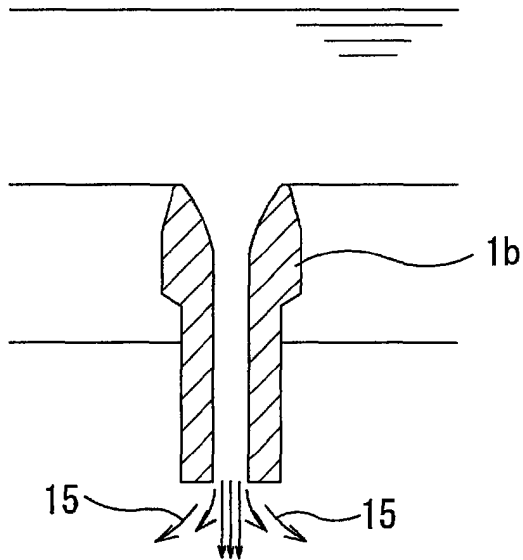


FIG. 6

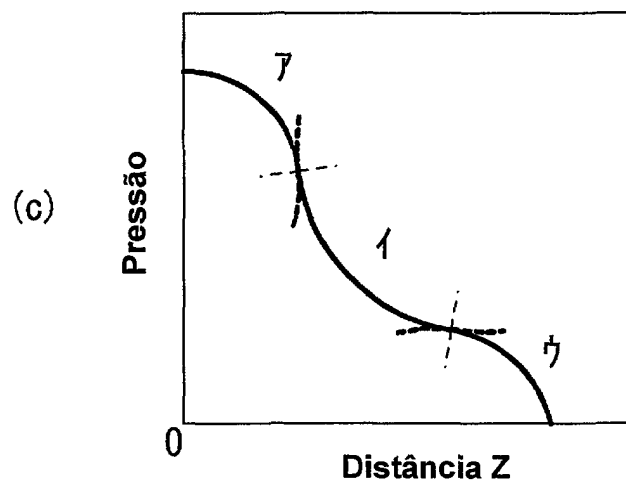
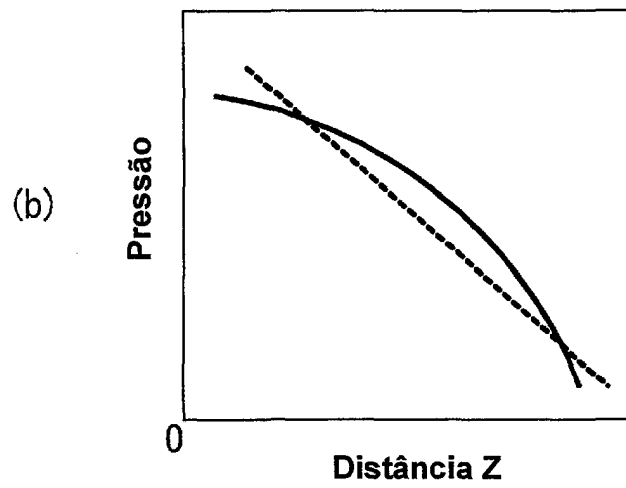
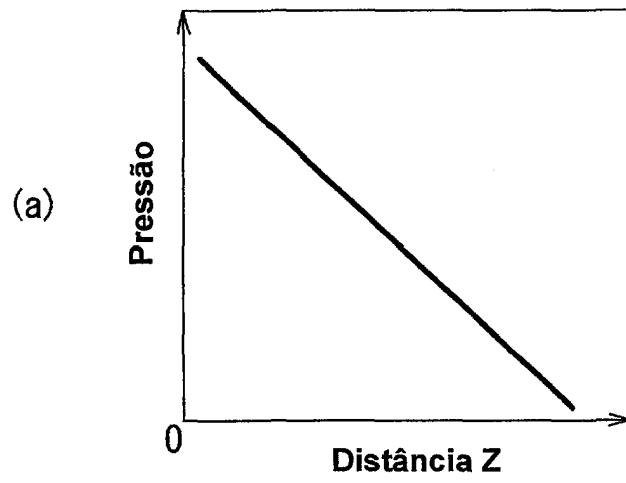


FIG. 7A

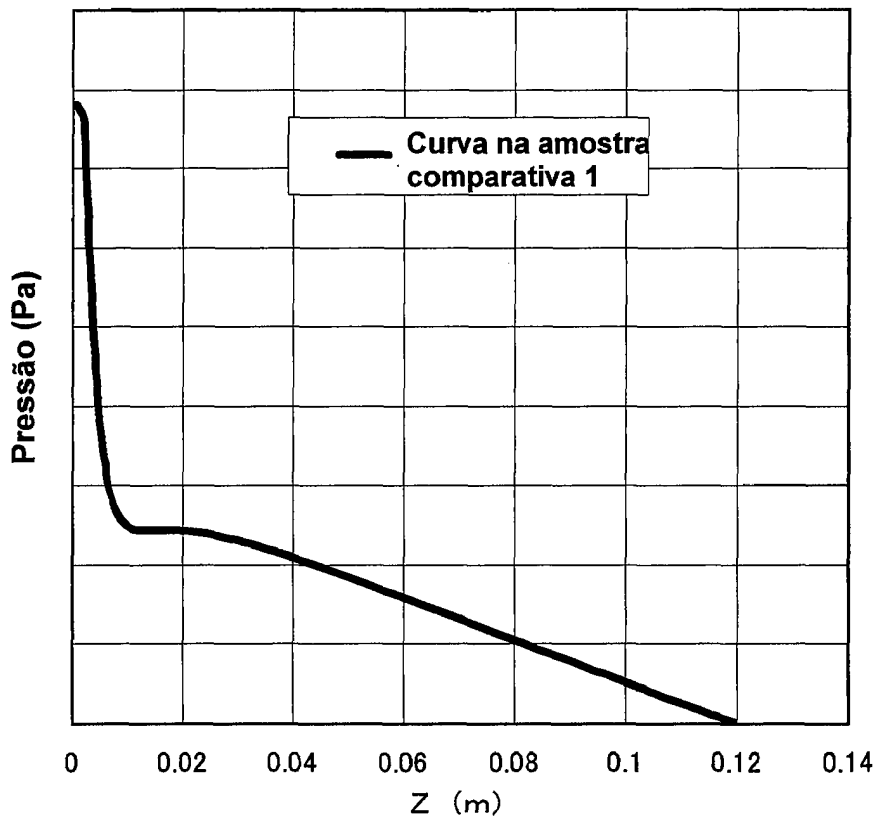


FIG. 7B

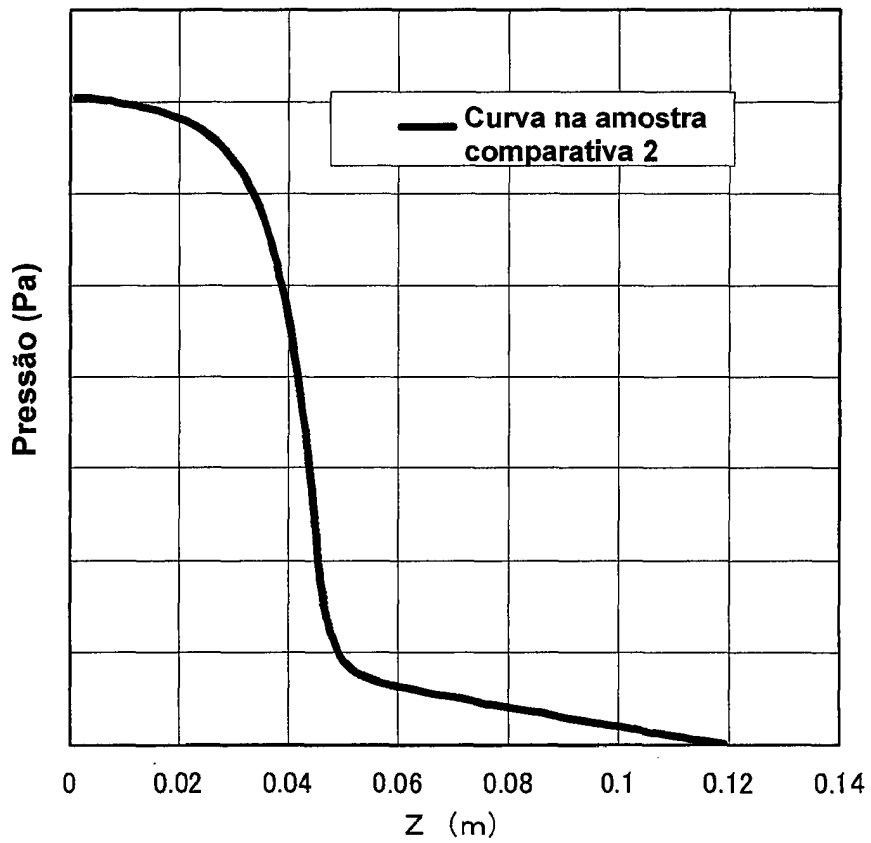


FIG. 7C

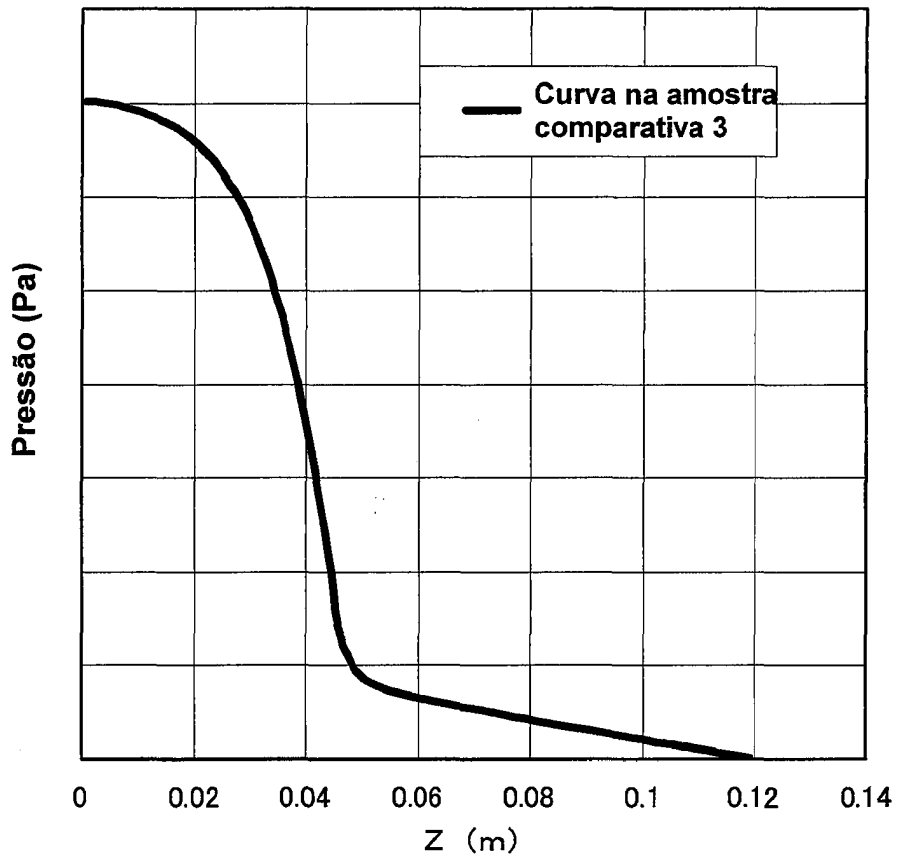


FIG. 7D

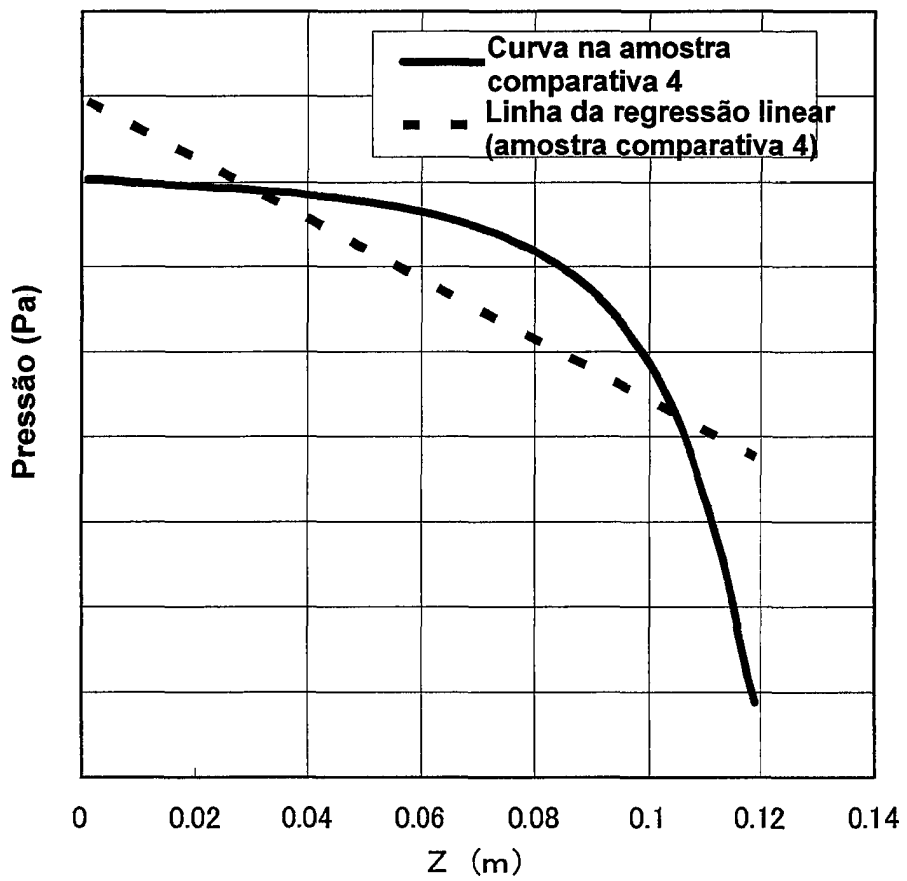


FIG. 7E

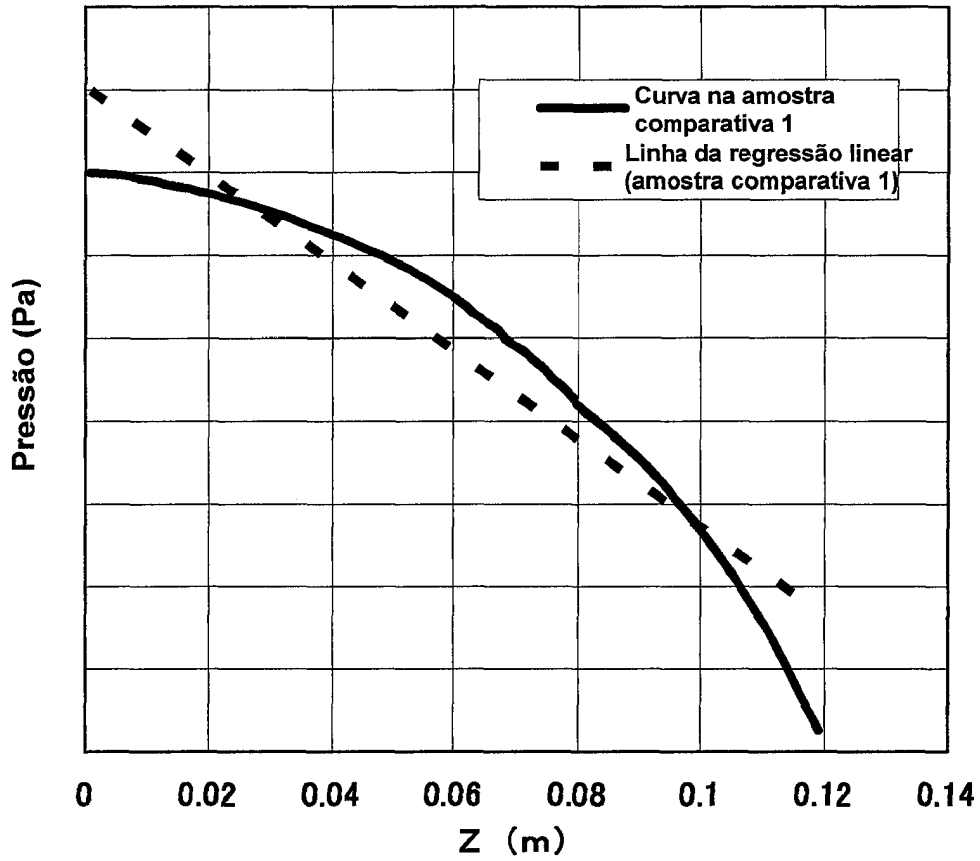


FIG. 7F

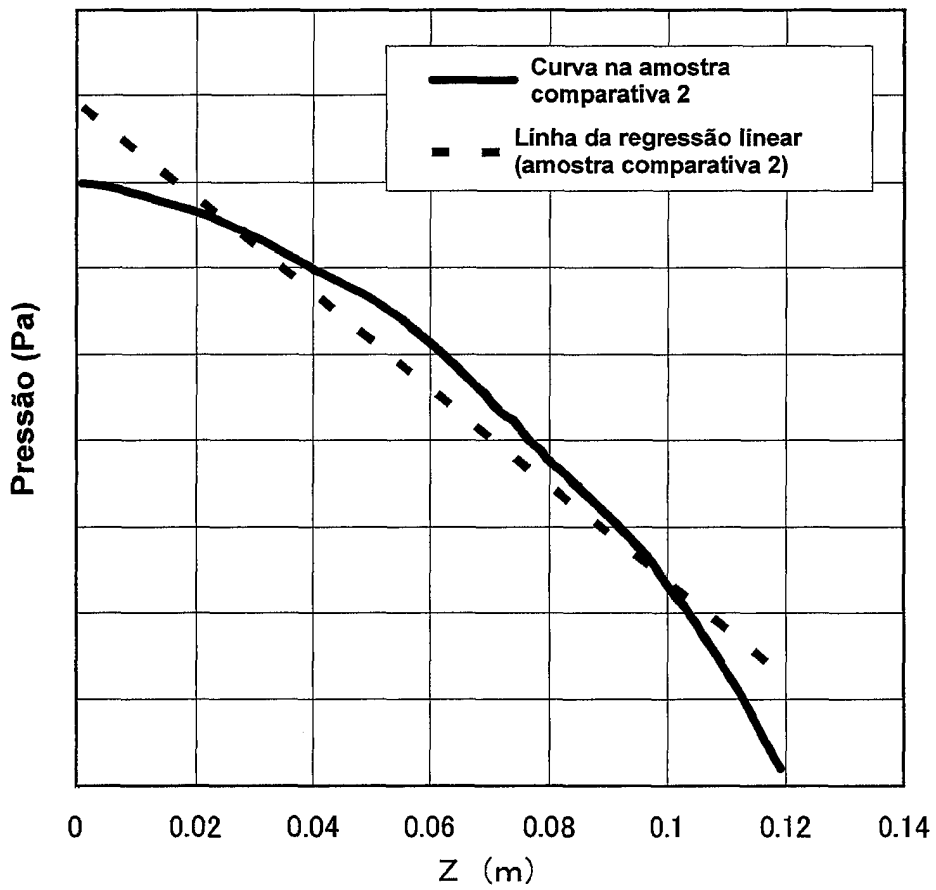


FIG. 7G

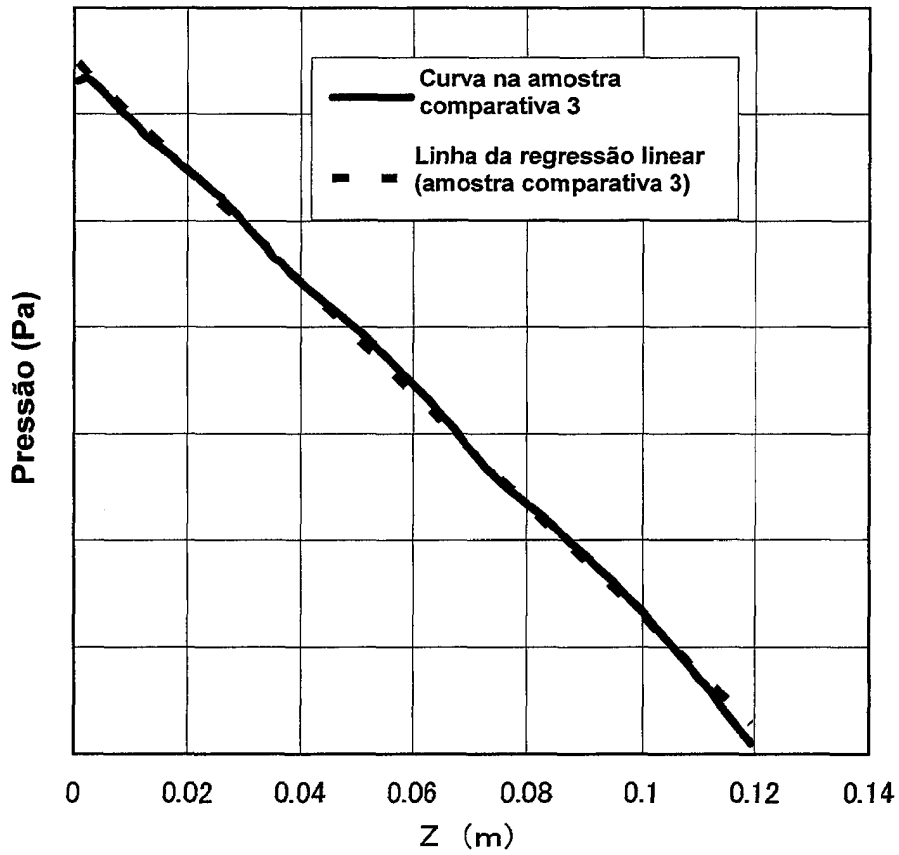


FIG. 7H

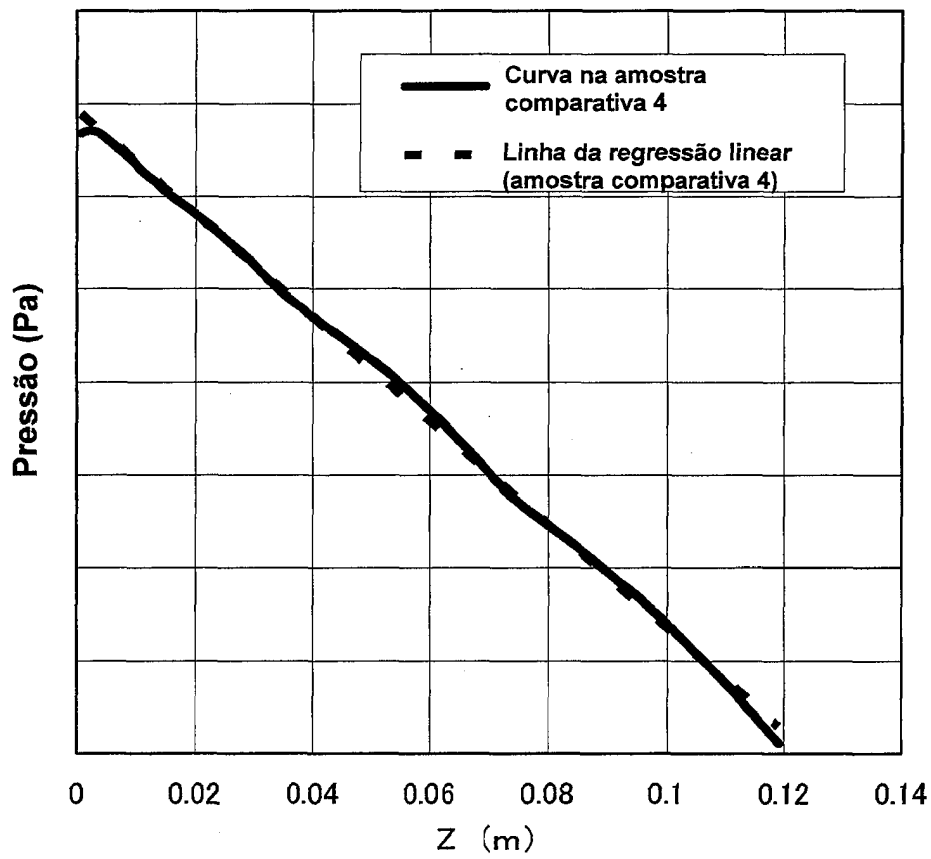


FIG. 7I

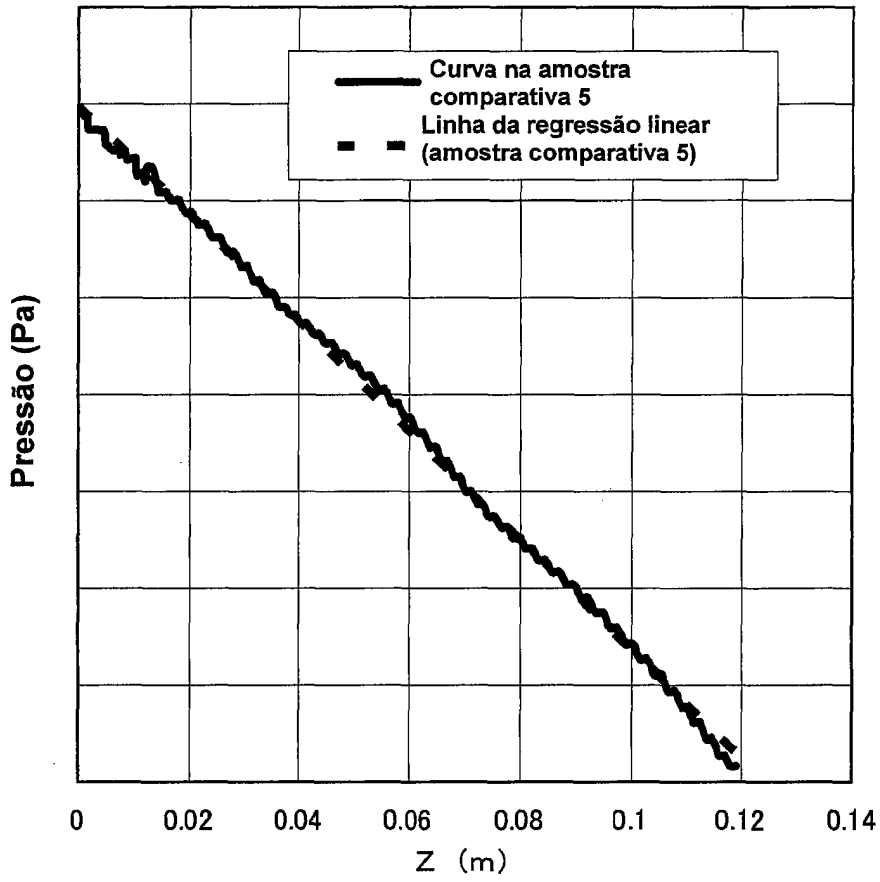


FIG. 7J

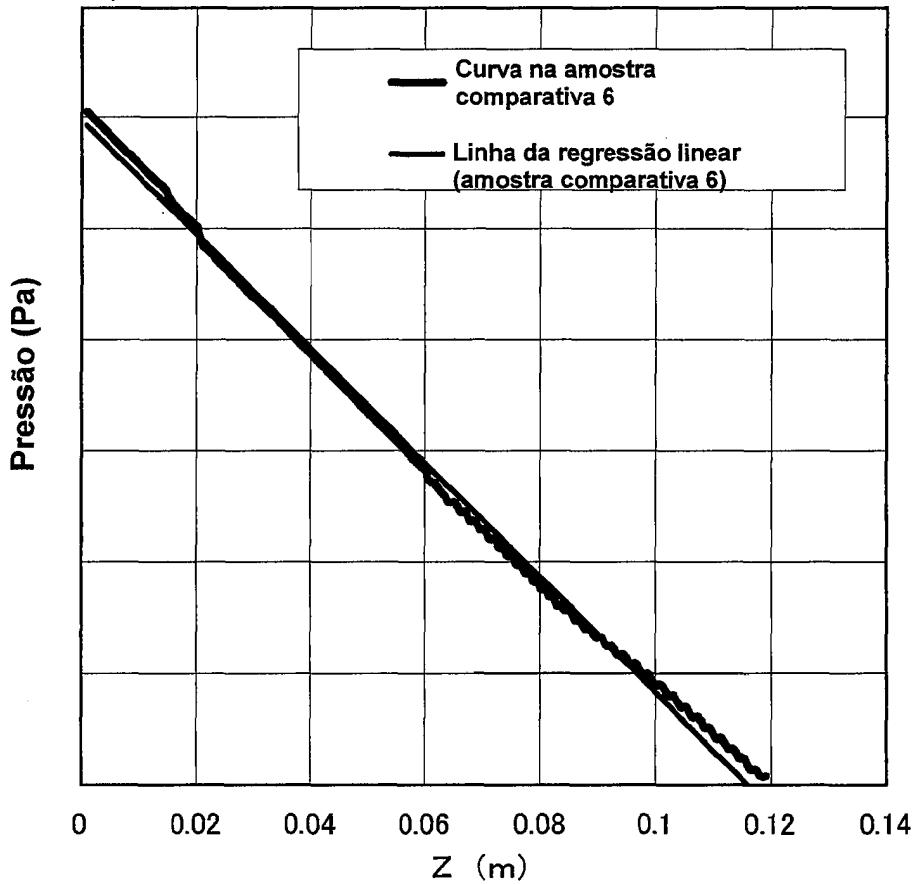


FIG. 7K

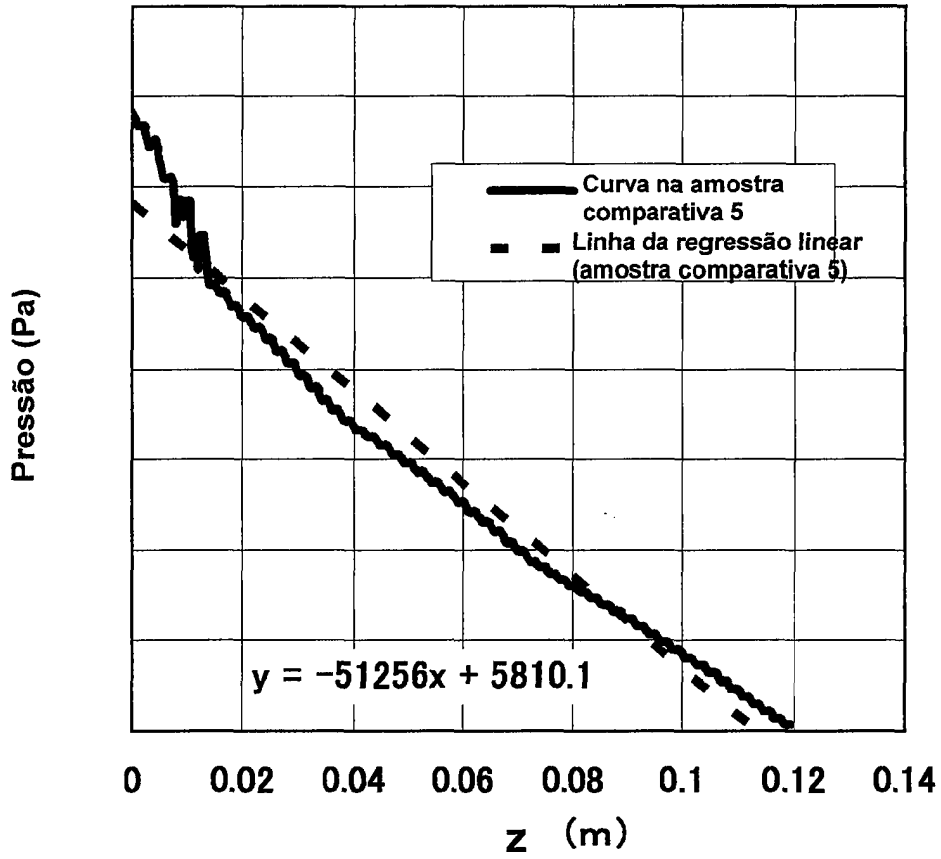


FIG. 7L

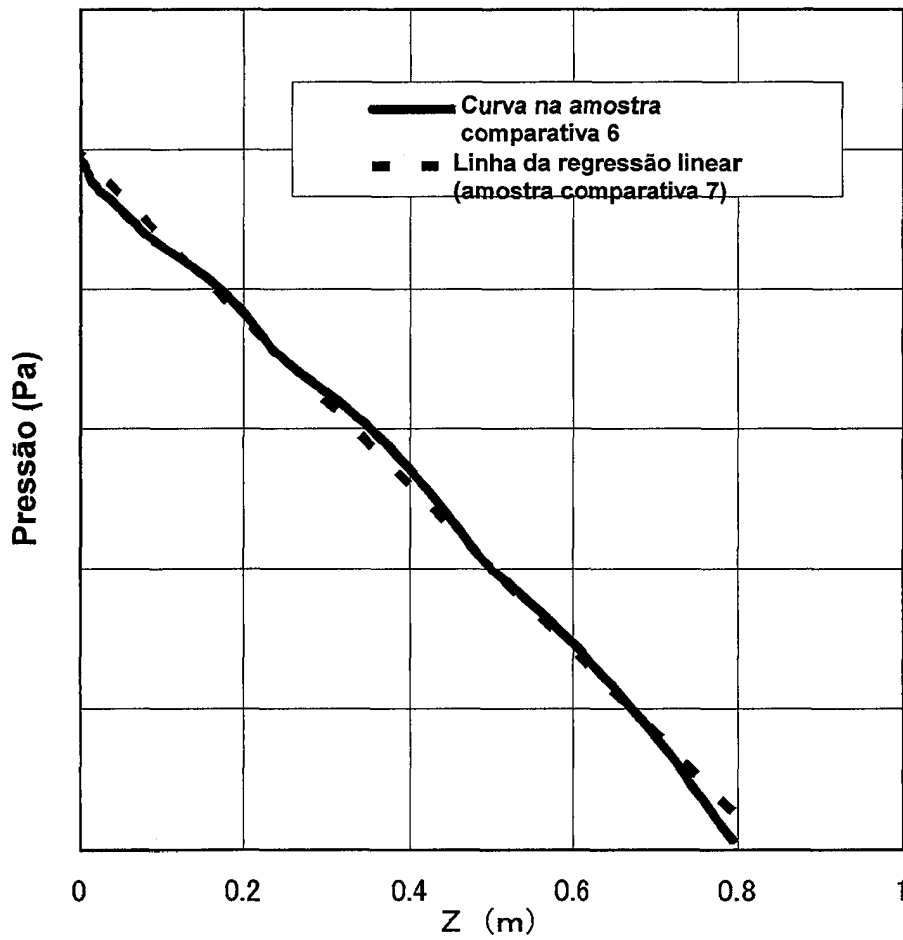


FIG. 7M

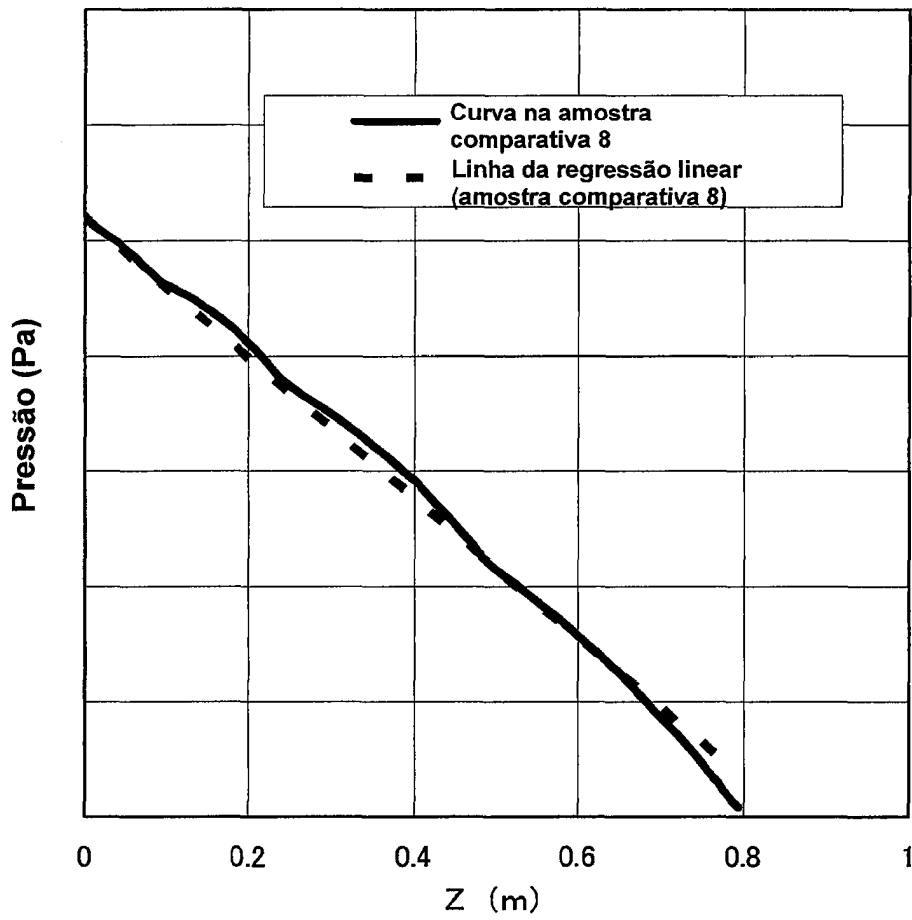


FIG. 8A

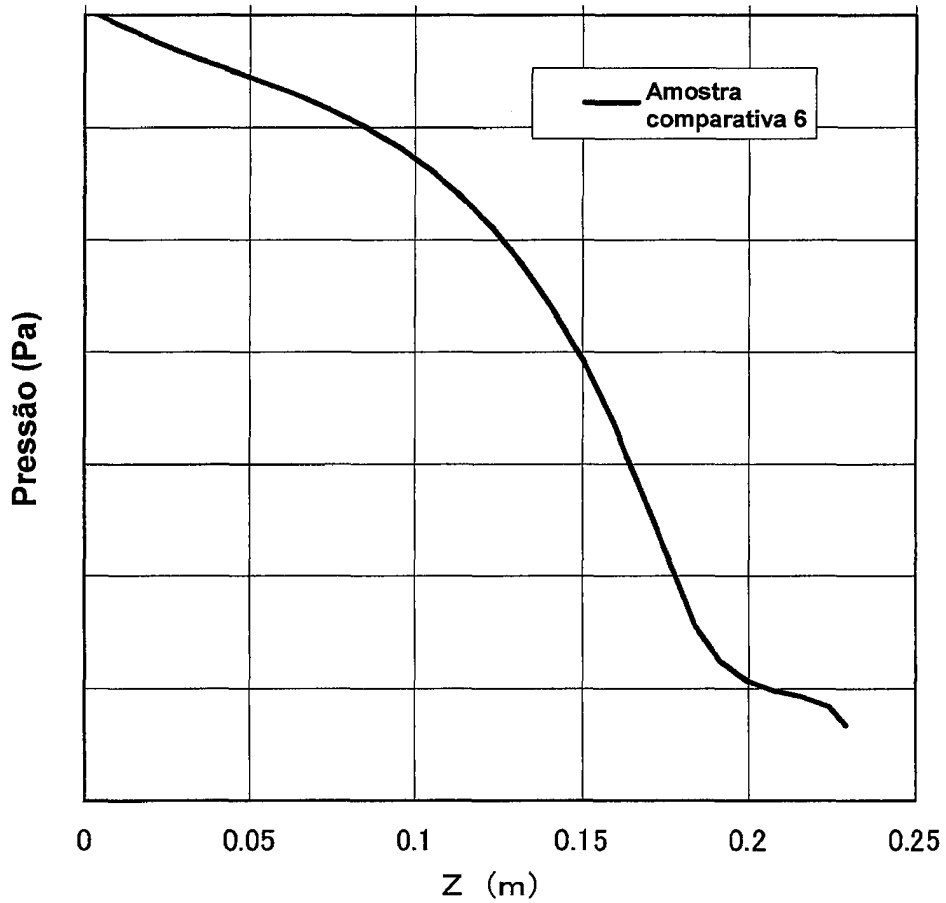


FIG. 8B

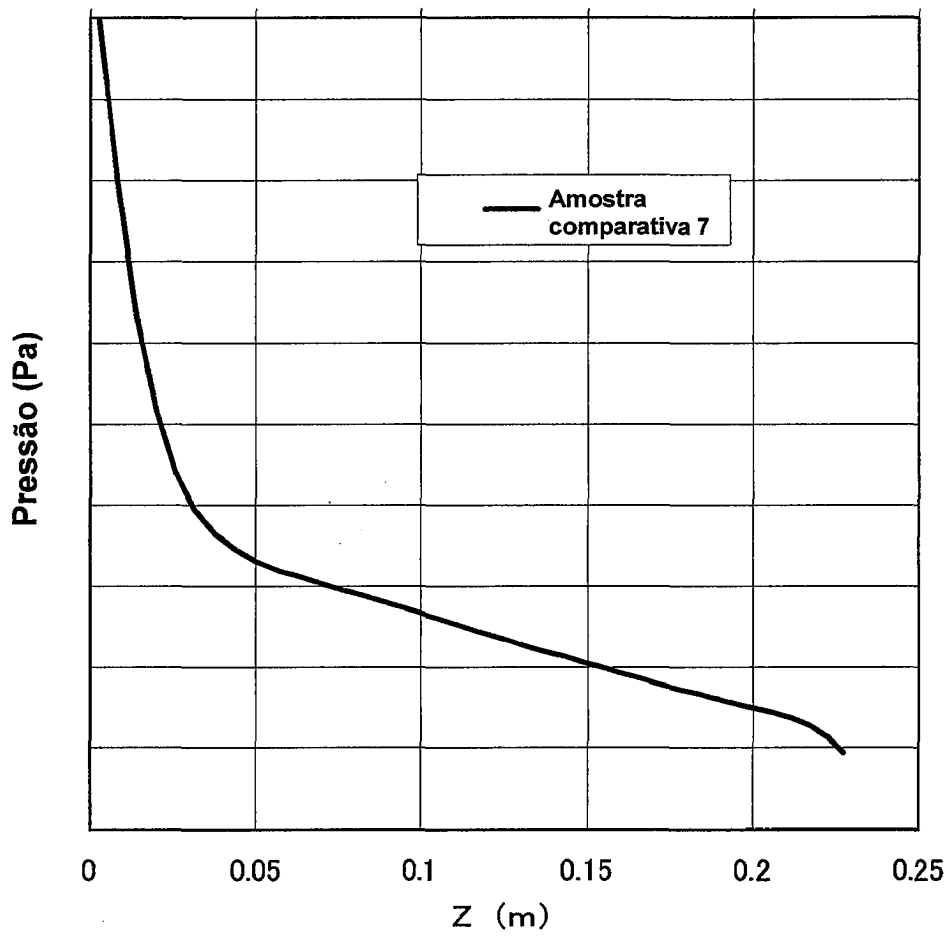


FIG. 8C

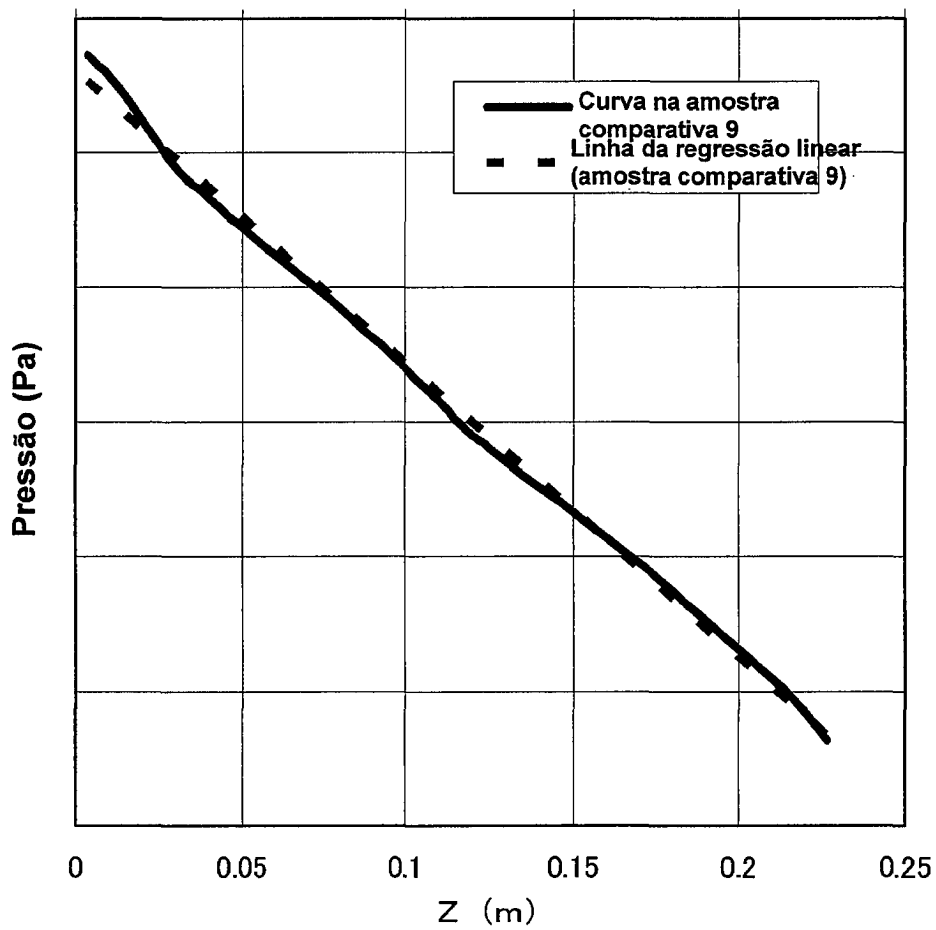


FIG. 8D

