



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0314336-8 B1



(22) Data do Depósito: 02/09/2003

(45) Data de Concessão: 12/02/2019

(54) Título: PARTICULADO POROSO CONFIGURADO SELETIVAMENTE E PROCESSO PARA TRATAMENTO DE POÇO QUE PENETRA EM UMA FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA

(51) Int.Cl.: C09K 8/80; E21B 43/267.

(30) Prioridade Unionista: 03/09/2002 US 60/407,734; 25/11/2002 US 60/428,836.

(73) Titular(es): BJ SERVICES COMPANY.

(72) Inventor(es): CHRISTOPHER JOHN STEPHENSON; ALLAN RAY RICKARDS; HAROLD DEAN BRANNON; SATYANARAYANA D. V. GUPTA.

(86) Pedido PCT: PCT US2003027611 de 02/09/2003

(87) Publicação PCT: WO 2004/022914 de 18/03/2004

(85) Data do Início da Fase Nacional: 03/03/2005

(57) Resumo: "PROCESSO DE TRATAMENTO DE FORMAÇÕES SUBTERRÂNEAS COM MATERIAIS POROSOS PARTICULADOS DE CERÂMICA". Processos e composições úteis para tratamentos de formação subterrânea, tais como tratamentos de fratura hidráulica e controle de areia que incluem materiais porosos. Tais materiais porosos também podem ser partículas de material poroso particulado configurado seletivamente e/ou tratados com materiais de vitrificação selecionados, materiais de revestimento e/ou materiais penetrantes para ter resistência e/ou densidade aparente desejadas para se adaptar a condições buraco abaixo em particular para tratamento do poço tais como tratamentos de fratura hidráulica e tratamentos de controle de areia. Os materiais porosos também podem ser empregados em combinações selecionadas para otimizar o desempenho da fratura ou do controle de areia e/ou podem ser empregados como materiais de peso relativamente leve em sistemas de tratamento de poço à base de dióxido de carbono líquido.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**"PARTICULADO POROSO CONFIGURADO SELETIVAMENTE E
PROCESSO PARA TRATAMENTO DE POÇO QUE PENETRA EM
UMA FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA".**

Campo da Invenção

[001] Esta invenção refere-se de forma geral a métodos e a composições úteis para tratamentos de formações subterrâneas, tais como tratamentos hidráulicos de produção de fraturas e controle de areia.

Antecedentes da Invenção

[002] A formação hidráulica de fraturas é uma técnica de estímulo comum utilizada para aumentar a produção de fluidos provenientes de formações subterrâneas. Em um tratamento hidráulico típico de produção de fraturas, o fluido para tratamento para produção de fraturas contendo um material propante sólido é injetado na formação em uma pressão suficientemente alta para causar a formação ou o alargamento de fraturas no reservatório. Durante um tratamento típico de produção de fraturas, o material propante é depositado em uma fratura, onde permanece após o tratamento ser completado. Após a deposição, o material propante serve para manter a fratura aberta, aumentando assim a capacidade dos fluidos migrarem da formação até o buraco do poço através da fratura. Devido ao fato de que a produtividade do poço fraturado depende da capacidade de uma fratura de conduzir fluidos partindo de uma formação até uma perfuração, a condutividade da fratura é um parâmetro importante na determinação do grau de sucesso de um tratamento hidráulico de produção de fratura.

[003] Os tratamentos hidráulicos de produção de fratura empregam comumente materiais propante que são colocados buraco abaixo com um fluido carreador gelificado tal como um fluido com base

aquosa tal como salmoura gelificada. Os agentes de gelificação para os fluidos carreadores propante podem fornecer uma fonte de embalagem propante e/ou a formação de danos e ajuste do propante pode interferir com a colocação buraco abaixo apropriada. Os danos à formação também podem ser causados por fluidos carreadores gelificados usados para colocar particulados buraco abaixo para finalidades tais como para controle de areia, tal como compactação de pedregulho, compactação de fracionados e de materiais similares. A formulação de carreador gelificado habitualmente requer equipamento e etapas de mistura projetadas para esta finalidade.

[004] Os tratamentos hidráulicos de formação de fratura também podem empregar materiais propante que são colocados buraco abaixo com fluidos de base não aquosa, tais como CO₂ líquido e sistemas de CO₂/N₂ líquidos. Os propantes comumente empregados com tais fluidos de base não aquosa tendem a sedimentar no sistema.

[005] Foram usados muitos materiais diferentes como propante inclusive areia, contas de vidro, cascas de nozes e projétil metálico. Os propantes comumente usados atualmente incluem várias areias, areias revestidas de resinas, cerâmica de resistência intermediária e bauxita sinterizada; cada uma empregada por sua capacidade de aguentar eficazmente em relação ao custo o respectivo ambiente de esforço do fechamento do reservatório. Quando aumenta a resistência relativa dos vários materiais, assim também têm as respectivas densidades das partículas, na faixa de desde 2,65 g/cm³ para areias até 3,4 g/cm³ para bauxita sinterizada. Infelizmente, o aumento da densidade da partícula conduz diretamente ao aumento do grau de dificuldade com o transporte do propante e um volume reduzido de fratura arrastado por propante para iguais quantidades do respectivo propante, reduzindo a condutividade da fratura. Esforços anteriores empreendidos para empregar materiais de mais baixa densidade como

propante resultaram geralmente em falha devido à resistência insuficiente de se manter a condutividade da fratura até mesmo nos esforços mais baixos de fechamento (6,9 MPa).

[006] Recentemente, foram desenvolvidas partículas deformáveis. Tais partículas deformáveis incluem esferas deformáveis de poliestireno divinilbenzeno (PSDVB). Tais esferas, entretanto, não foram inteiramente bem-sucedidas principalmente em consequência das limitações do material base. Embora as esferas de PSDVB oferecessem excelente deformabilidade e elasticidade, a estas faltava a integridade estrutural para aguentar grandes esforços de fechamento e altas temperaturas.

[007] O primeiro percurso bem-sucedido para gerar partículas deformáveis funcionais foi a utilização de cascas de nozes moídas modificadas. As cascas de nozes em seu estado natural foram usadas como propantes, agentes de perda de fluido e materiais de circulação perdidos durante muitos anos com maiores ou menores graus de sucesso em cada tarefa respectiva. Como um propante, as cascas de nozes naturais têm aplicabilidade muito limitada, porque elas se deformam bastante facilmente por aplicação de esforços de fechamento. Esta de formação reduz drasticamente a condutividade e os limites da utilização do material natural a ambientes de fechamento relativamente baixo.

[008] Os propantes de peso ultra leve à base de casca de nozes (UCW) podem ser fabricados em um processo em duas etapas usando-se partículas de nozes de tamanho muito parecido (isto é, mescla US de 20/30) e impregnando-se as mesmas com fortes resinas epóxi ou outras. Estas partículas de casca de nozes impregnadas são então revestidas com resinas fenólicas ou outra em uma maneira similar à maioria dos propantes revestidos de resina (RCP). Tais propantes à base de casca de nozes ULW têm uma densidade

aparente de 0,85 g/cc e aguentam até 41,4 MPa de esforço de fechamento a 79 °C.

[009] De modo geral, quanto mais forte um propante, maior a densidade. Quando aumenta a densidade, assim aumenta também a dificuldade de se colocar aquela partícula uniformemente em toda a geometria da fratura criada. A sedimentação excessiva pode frequentemente levar a formação de pontes do propante na formação antes de se conseguir o estímulo desejado. A menor densidade da partícula reduz a velocidade do fluido necessária para manter o transporte do propante dentro da fratura, que, por sua vez, é responsável por uma maior quantidade da área da fratura criada a ser arrastada por propante.

[0010] São, portanto, desejados propantes ULW que permitam a otimização de tratamento de fratura com melhor comprimento da fratura e produtividade do poço.

Sumário da Invenção

[0011] A invenção refere-se a métodos para tratamento de formações subterrâneas por tratamento de um poço com uma composição que contém particulados porosos de cerâmica ou particulados poliméricos orgânicos. Em particular, as composições introduzidas no poço são particularmente adequadas na fratura hidráulica de um poço assim como métodos de consolidação de areia tais como a compactação de pedregulho e a compactação de frac. O material particulado poroso pode ser um material particulado poroso, como aqui definido. Alternativamente, o material particulado poroso pode ser um material particulado poroso configurado não seletivamente, como aqui definido.

[0012] O material particulado poroso pode ser configurado seletivamente com um material não poroso penetrante, camada de revestimento ou camada de vitrificação. Em uma modalidade preferida,

o material particulado poroso é um material particulado poroso configurado seletivamente em que (a.) a densidade aparente ou a gravidade específica aparente do material particulado poroso configurado seletivamente é menor do que a densidade aparente ou a gravidade específica aparente do material particulado poroso; (b.) a permeabilidade do material particulado poroso configurado seletivamente é menor do que a permeabilidade do material particulado poroso; ou (c.) a porosidade do material particulado poroso configurado seletivamente é menor do que a porosidade do material particulado poroso.

[0013] Em uma modalidade preferida, o material penetrante e/ou a camada de revestimento e/ou a camada de vitrificação do material particulado poroso configurado seletivamente é capaz de aprisionar ou de encapsular um fluido que tenha uma gravidade específica aparente menor do que a gravidade específica aparente do fluido carreador. Ainda, a camada de revestimento e/ou o material de penetração e/ou o material de vitrificação podem ser um líquido que possui uma gravidade específica aparente menor que a gravidade específica aparente da matriz do material particulado poroso.

[0014] A resistência do material particulado poroso configurado seletivamente é tipicamente maior do que a resistência do material particulado poroso por si. Além disso, o material poroso configurado seletivamente exibe resistência à moagem sob condições tão altas quanto o esforço de fechamento de 69 MPa, API RP 56 ou API RP 60.

[0015] Em um modo preferido, a composição particulada porosa é uma suspensão de particulados porosos em um fluido carreador. A suspensão de preferência forma uma compactação de material particulado que é permeável a fluidos produzidos pelo buraco do poço e evita substancialmente ou reduz a produção de materiais de formação provenientes da formação para o buraco do poço.

[0016] Além disso, o material particulado poroso pode exibir uma porosidade e uma permeabilidade de forma que um fluido possa ser atraído pelo menos parcialmente para a matriz porosa por ação capilar. Preferencialmente, o material particulado poroso tem uma porosidade e uma permeabilidade tal que possa ser atraído um material penetrante pelo menos parcialmente para dentro da matriz porosa do material poroso particulado usando-se um vácuo e/ou pode ser forçado pelo menos parcialmente para dentro da matriz porosa sob pressão.

[0017] O material poroso particulado configurado seletivamente pode consistir de um grande número de particulados revestidos colados entre si. Em uma tal maneira, o material poroso é um aglomerado de particulados revestidos com uma camada de revestimento ou com uma camada penetrante ou com uma camada de vitrificação. Tais camadas de revestimento adequadas ou de materiais penetrantes incluem resinas líquidas e/ou curáveis, plásticos, cimentos, selantes ou aglutinantes tais como um fenol, um fenol formaldeído, melamina formaldeído, uretano, resina epóxi, náilon, polietileno, poliestireno ou uma combinação dos mesmos. Em um modo preferido, a camada de revestimento ou um material penetrante é uma resina à base de carbamato de etila.

[0018] Em uma modalidade preferida, os materiais porosos particulados configurados seletivamente são derivados de partículas de peso leve e/ou flutuantes substancialmente neutras. A aplicação de particulados de material poroso selecionados e de material particulado flutuante substancialmente neutro como um particulado de propante de fratura vantajosamente é responsável pelo desempenho do sistema global substancialmente melhorado em aplicações de fratura hidráulica ou em outras aplicações para tratamento de poços tal como controle de areia.

[0019] As composições que contêm material poroso particulado usadas na invenção também podem conter um fluido carreador. O fluido carreador pode ser uma salmoura de acabamento ou de processamento, água do mar, água doce, um hidrocarboneto líquido ou um gás tal como nitrogênio ou dióxido de carbono.

[0020] As composições que contêm material poroso particulado também podem conter um agente de gelificação, um agente de reticulação, um agente de ruptura de gel, um tensoativo, um agente espumante, um desmulsificador, uma solução tamponadora, um estabilizador de argila, um ácido ou misturas dos mesmos.

Breve Descrição dos Desenhos

[0021] Para se entender mais completamente os desenhos citados na descrição detalhada ou a presente invenção, é apresentada uma breve descrição de cada desenho, em que:

[0022] A FIG. 1 é um gráfico que representa a comparação de densidade aparente dos dados do Exemplo 1.

[0023] A FIG. 2 é um gráfico que representa a permeabilidade versus os dados de esforço de fechamento do Exemplo 2.

[0024] A FIG. 3 é um gráfico que representa a condutividade versus os dados de esforço de fechamento do Exemplo 2.

[0025] A FIG. 4 é um gráfico que representa a condutividade versus os dados de esforço de fechamento do Exemplo 2.

[0026] A FIG. 5 é um gráfico que representa a permeabilidade versus os dados de esforço de fechamento do Exemplo 2.

[0027] A FIG. 6 é um gráfico que representa os dados de comparação da condutividade do Exemplo 2.

[0028] A FIG. 7 é um gráfico que representa os dados de comparação da permeabilidade do Exemplo 2.

[0029] A FIG. 8 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0030] A FIG. 9 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0031] A FIG. 10 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0032] A FIG. 11 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0033] A FIG. 12 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0034] A FIG. 13 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0035] A FIG. 14 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0036] A FIG. 15 é uma fotografia SEM de uma partícula de material poroso do Exemplo 3.

[0037] A FIG. 16 ilustra distribuição de propante para uma combinação selecionada de particulados para tratamento de poços com particulados de acordo com uma modalidade das composições descritas e métodos descritos no Exemplo 4.

[0038] A FIG. 17 ilustra os dados de distribuição comparativos de propante do Exemplo 4 para areia de Ottawa apenas.

Descrição Detalhada das Modalidades Preferidas

[0039] Como usado neste caso, os termos a seguir deverão ter os significados designados:

[0040] "material poroso particulado" irá se referir a materiais poliméricos porosos de cerâmica ou porosos orgânicos. Exemplos de tipos de materiais adequados para uso como particulados de material poroso incluem os particulados que têm uma matriz porosa;

[0041] "material poroso particulado configurado seletivamente" irá se referir a qualquer material poroso particulado, natural ou não natural, que foi tratado quimicamente, tal como tratamento com um

material para revestimento; tratamento com um material penetrante ou modificado por vitrificação. O termo deve incluir, mas não ser limitado àqueles materiais porosos particulados que foram alterados para conseguir propriedades físicas desejadas, tais como características da partícula, resistência desejada e/ou densidade aparente para se adaptar a condições de buraco abaixo em particular para tratamento do poço tais como tratamentos de fratura hidráulica e tratamentos de controle de areia.

[0042] "material poroso particulado configurado não seletivamente" irá se referir a qualquer material de cerâmica poroso natural, tais como rochas vulcânicas de peso leve, como pedra-pome, assim como perlita e outras "lavas" como Basalto Havaiano poroso (vesicular), Diabase poroso da Virgínia e Rhyolite de Utah. Além disso, também podem ser usados materiais inorgânicos de cerâmica, tais como alumina, vidro magnético, óxido de titânio, óxido de zircônio e carbureto de silício. Além disso, o termo irá referir-se a um material poroso particulado sintético que não foi tratado quimicamente e que confere propriedades físicas desejadas, tais como características da partícula, resistência desejada e/ou densidade aparente para adaptar condições de buraco abaixo para tratamento de poços;

[0043] "de peso relativamente leve" irá se referir a um material poroso particulado que tem uma densidade aparente (API RP 60) que é substancialmente menor do que um material particulado convencional empregado em operações de fratura hidráulica e de controle de areia, tal como areia que tem uma gravidade específica aparente (API RP 60) de 2,65 e bauxita que tem uma gravidade específica aparente de 3,55. A gravidade específica aparente de um material de peso relativamente leve é menor do que aproximadamente 2,4.

[0044] "flutuante substancialmente neutro" irá se referir a um

material poroso particulado que tem uma densidade aparente substancialmente próxima à densidade aparente de um fluido carreador não gelificado selecionado ou fracamente gelificado, tal como uma salmoura de acabamento não gelificado ou fracamente gelificado, outro fluido de base aquosa, fluido de baixa reologia ou outro fluido adequado, que permite bombeamento e colocação satisfatória do propante / particulado que usa o fluido carreador não gelificado selecionado ou fracamente gelificado.

[0045] Um "fluido carreador fracamente gelificado" é um fluido carreador que tem um agente de viscosidade ou um redutor de atrito para se conseguir redução de atrito quando bombeado buraco abaixo, por exemplo, quando bombeado tubulação abaixo, cordão de trabalho, carcaça, tubulação em serpentina, tubo de perfuração ou locação similar, em que a concentração de polímero ou de agente de viscosidade é desde aproximadamente 0 unidade de massa (libras) de polímero por milhares de litros (galões) de fluido base até aproximadamente 4,5 kg (10 libras) de polímero por milhares de litros (galões) de fluido base e/ou a viscosidade de desde aproximadamente 1 até aproximadamente 10 centipoises. Um "fluido carreador não gelificado" é um fluido carreador que não tem polímero nem agente de viscosidade. O fluido carreador não gelificado pode conter um redutor de atrito conhecido na técnica.

[0046] Os materiais porosos particulados configurados seletivamente assim como os materiais porosos particulados configurados não seletivamente são particularmente eficazes em fratura hidráulica assim como fluidos de controle de areia tais como água, salmoura, fluido de baixa reologia tal como tratamentos de fratura com fluido de baixa reologia a concentrações relativamente baixas para se conseguir fraturas parciais em monocamada, fluidos de gel de polímero de baixa concentração (lineares ou reticulados),

espumas (com gás) fluido, gás líquido tais como tratamentos para fratura com dióxido de carbono líquido para mais profunda penetração do propante, tratamentos para zonas sensíveis à água e tratamentos para poços de armazenagem de gás.

[0047] Por exemplo, as partículas de material poroso configurado seletivamente ou as partículas de material poroso configurado não seletivamente podem ser misturadas e bombeadas durante qualquer (quaisquer) parte(s) desejada(s) de um tratamento de poço tal como um tratamento hidráulico de produção de fraturas ou um tratamento de controle de areia e podem ser misturadas em qualquer concentração desejada com um fluido carreador. Sob este aspecto pode ser empregado qualquer fluido carreador adequado para transportar as partículas de material poroso particulado configurado seletivamente ou as partículas de material poroso particulado configurado não seletivamente em um poço e/ou em uma fratura de formação subterrânea em comunicação com o mesmo pode ser empregado inclusive, porém não limitado a, fluidos carreadores que compreendem água do mar, água doce, solução de cloreto de potássio, uma solução saturada de cloreto de sódio, hidrocarbonetos líquidos e/ou nitrogênio e outros gases. Os fluidos carreadores adequados incluem ou podem ser usados em combinação com fluidos que têm agentes de gelificação, agentes de reticulação, agentes de ruptura de gel, tensoativos, agentes espumantes, desemulsificantes, soluções tamponadoras, estabilizadores de argila, ácidos e misturas dos mesmos.

[0048] Quando usado em fratura hidráulica, o material poroso particulado configurado seletivamente ou o material poroso particulado configurado não seletivamente pode ser injetado em uma formação subterrânea associação com um tratamento de fratura hidráulica ou outro tratamento a pressões suficientemente bastante altas para

causar a formação ou o aumento de fraturas. Tais outros tratamentos podem ser próximos ao buraco do poço na natureza (afetando regiões próximas ao buraco do poço) e podem ser dirigidas à melhoria da produtividade do buraco do poço e/ou ao controle da produção de fratura com propante ou formação de areia. Exemplos em particular incluem compactação de pedregulho e "compactações de frac". Além disso, tais partículas podem ser empregadas sozinhas como um particulado para controle de propante / areia de fratura ou em misturas em quantidades e com tipos de materiais propante de fratura / controle de areia, tal como fratura convencional ou particulado de controle de areia. Informação adicional sobre métodos de fratura hidráulica e materiais para uso neste caso pode ser encontrada na Patente US N° 6.059.034 e na Patente US N° 6.330.916, que são aqui incorporadas como referência.

[0049] Quando empregadas em tratamentos de poços, as partículas de material poroso selecionado que foram configuradas seletivamente, tal como vitrificadas e/ou tratadas com um ou mais materiais para revestimento e/ou penetrantes selecionados, podem ser introduzidos em um buraco de poço a qualquer concentração (ões) considerada (s) adequada (s) ou eficaz (es) para as condições de buraco abaixo a serem encontradas. Por exemplo, um fluido para tratamento de poço pode incluir uma suspensão de propante ou de particulado para controle de areia que é constituído completamente de partículas de material poroso selecionado de peso relativamente leve que foram configuradas seletivamente, tal como vitrificadas e/ou tratadas com um ou mais materiais para referência e/ou penetrantes selecionados. Alternativamente, é possível que um fluido para tratamento do poço possa incluir uma suspensão que contém uma mistura de propante para fratura convencional ou particulados de controle de areia tal como areia com partículas de material poroso

selecionado de peso relativamente leve que foi configurado seletivamente tal como vitrificado e/ou tratado com um ou mais materiais para aplicação de revestimento e/ou penetrantes selecionados.

[0050] Em um exemplo de modalidade, pode ser realizada uma operação de compactação de pedregulho em um buraco de poço que penetra em uma formação subterrânea para evitar ou substancialmente reduzir a produção de formação de partículas no buraco de poço pela formação durante a produção de fluidos de formação. A formação subterrânea pode ser completada de modo a estar em comunicação com o interior do buraco de poço e/ou por uma seção de buraco aberto. Uma montagem de tela tal como é conhecido na técnica pode ser colocada ou então disposta dentro do buraco de poço de modo que pelo menos uma parte da montagem da tela esteja disposta adjacente à formação subterrânea. Uma suspensão que inclui o material poroso particulado configurado seletivamente ou o material poroso particulado configurado não seletivamente e um fluido carreador pode então ser introduzido no buraco de poço e colocado adjacente à formação subterrânea por circulação ou outro método adequado de modo a formar uma compactação permeável a fluido em uma área anular entre o exterior da tela e o interior do buraco do poço que é capaz de reduzir ou de evitar substancialmente a passagem de partículas de formação da formação subterrânea para dentro do buraco do poço durante a produção de fluidos, da formação, enquanto ao mesmo tempo permite a passagem de fluidos de formação da formação subterrânea através da tela para dentro do buraco do poço. É possível que a lama possa conter todo ou apenas uma parte do material poroso particulado configurado seletivamente ou do material poroso particulado configurado não seletivamente. Neste último caso, o restante do material particulado da lama pode ser um outro material,

tal como um particulado compactado de pedregulho convencional.

[0051] Como uma alternativa ao uso de uma tela, o método de controle de areia pode usar o material poroso particulado configurado seletivamente ou o material poroso particulado configurado não seletivamente de acordo com qualquer método em que é formado um compacto de material poroso particulado dentro de um buraco de poço que é permeável a fluidos produzidos de um buraco do poço, tais como óleo, gás ou água, porém que evita ou reduz substancialmente a produção de materiais de formação, tal como areia de formação, da formação para o buraco do poço. Tais métodos podem ou não empregar uma tela de compacto de pedregulho, podem ser introduzidos em um buraco do poço a pressões abaixo, ou acima da pressão de fratura da formação, tal como compactação de fracionados e/ou podem ser empregados em associação com resinas tais como resinas de consolidação de areia se assim desejado.

[0052] O material poroso particulado deverá incluir qualquer material poroso particulado de cerâmica poroso que ocorra naturalmente ou fabricado ou engenheirado que tenha uma porosidade inerente e/ou induzida. Um instrumento comercialmente disponível, ACCUPYC 1330 Automatic Gas Pycnometer (Micromeritics, Norcross, GA), que usa Hélio como um gás inerte e o procedimento recomendado pelo fabricante pode ser usado para determinar a porosidade interna dos particulados. A porosidade interna é geralmente desde aproximadamente 10 até 75 por cento em volume. Tal material particulado pode também ter uma permeabilidade inerente ou induzida, isto é, os espaços de poro individuais dentro da partícula estão interligados de modo que os fluidos sejam capazes de pelo menos parcialmente mover-se através da matriz porosa, tal como penetrando na matriz porosa da partícula ou podem ter uma não permeabilidade inerente ou induzida, os espaços de poro individuais

dentro da partícula estão desligados de modo que os fluidos sejam substancialmente incapazes de se mover através da matriz porosa, tal como não sendo capazes de penetrar na matriz porosa da partícula. O grau de interligação desejada da porosidade pode ser selecionado e engenheirado no material poroso particulado configurado não seletivamente. Além disso, tais partículas porosas podem ser selecionadas para ter um tamanho e um formato de acordo com especificações típicas de fratura da partícula de propante (isto é, tendo uma distribuição uniforme de formato e de tamanho), embora não seja necessária tal uniformidade de formato e de tamanho.

[0053] A gravidade específica aparente do material particulado poroso é geralmente menor do que ou igual a 2,4, de preferência menor do que ou igual a 2,0, até mesmo mais preferivelmente menor do que ou igual a 1,75, mais preferivelmente menor do que ou igual a 1,25.

[0054] Em um material particulado poroso configurado seletivamente, as partículas podem ser selecionadas baseadas nas características de porosidade e/ou de permeabilidade de modo que elas tenham características desejadas de peso leve, tal como quando suspensas em um fluido carreador selecionado para um tratamento do poço. Como antes, a porosidade inerente e/ou induzida de uma partícula de material poroso pode ser selecionada de modo a ajudar a fornecer o equilíbrio desejado entre densidade e resistência aparentes. Podem ser empregados materiais opcionais juntamente com um material de vitrificação, de penetração e/ou de revestimento para controlar a penetração, tal como melhorando ou impedindo a penetração. Por exemplo, em uma modalidade um estabilizador de argila catiônica, tal como CLAY MASTER 5C de BJ Services, pode ser primeiro aplicado à superfície externa de um material poroso de cerâmica para inibir a penetração por material de revestimento / de

penetração, tal como epóxi ou resina descritos alhures neste caso.

[0055] Em uma modalidade preferida, o material particulado poroso é um material particulado de peso relativamente leve ou flutuante substancialmente neutro. Tais materiais podem ser empregados de uma maneira que elimine a necessidade de gelificação do fluido carreador, eliminando desse modo uma fonte de compactado propante potencial e/ou danos à formação. Além disso, um material particulado de peso relativamente leve pode ser mais fácil de se colocar dentro de uma zona visada em virtude de menores restrições de sedimentação e uma massa reduzida de tal material particulado de peso relativamente leve é geralmente necessária para preencher um volume equivalente que é necessário com particulados de controle de areia convencionais, usados, por exemplo, para finalidades de compactação de pedregulho.

[0056] Pode ser empregado o material propante / particulado flutuante de peso relativamente leve e/ou substancialmente neutro usado em fratura hidráulica / tratamento de controle de areia, tais como partículas porosas de cerâmica que têm densidade aparente não tratada de 1,16 e porosidade não tratada de aproximadamente 59,3 %.

[0057] Em uma modalidade, os particulados de material poroso descritos podem ser empregados como material particulado / propante de peso relativamente leve que pode ser introduzido ou bombeado em um poço como partículas flutuantes neutras, por exemplo, em um fluido carreador de solução saturada de cloreto de sódio ou em um fluido carreador que é qualquer outra salmoura de acabamento ou de processamento conhecida na técnica, eliminando desse modo a necessidade de danificar o polímero ou perda de material fluido. Em uma modalidade, um tal material pode ser empregado como material particulado de controle de propante/areia a temperaturas de até aproximadamente 371°C e esforços de fechamento de até

aproximadamente 55,2 MPa. No entanto, estas faixas de temperatura e de esforço de fechamento são apenas exemplos, sendo entendido que os materiais descritos podem ser empregados como materiais propante / de controle de areia a temperaturas mais altas do que aproximadamente 371°C e/ou a esforços de fechamento maiores do que aproximadamente 55,2 MPa. Em qualquer eventualidade, será entendido com vantagem desta descrição que o material particulado poroso e/ou os materiais de aplicação de revestimento / penetrantes podem ser selecionados pelos peritos na técnica para satisfazer e aguentar as condições buraco abaixo antecipadas de uma dada aplicação.

[0058] Naquelas modalidades em que são empregados os materiais porosos particulados descritos como materiais particulados / propante de peso relativamente leve e/ou flutuantes substancialmente neutros, eles podem ser empregados com fluidos carreadores que são gelificados, não gelificados ou que têm um requisito de gelificação reduzido ou mais leve comparado aos fluidos carreadores empregados com métodos convencionais de tratamento de fratura / de controle de areia. Em uma modalidade que emprega um ou mais dos materiais particulados flutuantes substancialmente neutros descritos e um fluido carreador de salmoura, o equipamento de mistura não precisa apenas incluir tal equipamento que é capaz de (a) misturar a salmoura (dissolver sais solúveis) e (b) dispersar-se homoganeamente no material particulado flutuante substancialmente neutro. Em uma modalidade, um material particulado / propante flutuante substancialmente neutro pode ser vantajosamente pré-suspenso e armazenado em um fluido de armazenagem, tal como salmoura de densidade próxima ou substancialmente igual e então bombeado ou colocado buraco abaixo como tal ou diluído na poeira.

[0059] Exemplos de materiais porosos particulados não naturais

para uso na invenção incluem, mas não estão limitados a, partículas porosas de cerâmica tais como aquelas partículas disponíveis pela Carbo Ceramics Inc. como "Ecnoprop" e aquelas caoliníticas queimadas descritas na Patente US Nº 5.188.175 que é aqui incorporada como referência. Como descrito nesta referência, tais partículas podem incluir pelotas esféricas sólidas ou partículas provenientes de matérias-primas (tal como argila caulim) que têm um teor de alumina de entre aproximadamente 25 % e 40 % e um teor de sílica de entre aproximadamente 50 % e 65 %. Pode ser empregado um aglutinante de amido. Tais partículas podem ser caracterizadas como tendo uma proporção de teor de dióxido de silício para alumina de desde aproximadamente 1,39 até aproximadamente 2,41 e uma gravidade específica aparente de entre aproximadamente 2,20 e aproximadamente 2,60 ou entre aproximadamente 2,20 e aproximadamente 2,70.

[0060] Será também entendido que as partículas porosas de cerâmica podem ser fabricadas seletivamente partindo de matérias-primas tais como aquelas descritas na Patente US Nº. 5.188.175, na Patente US Nº. 4.427.068 e na Patente US Nº. 4.522.731, cada uma aqui incorporada como referência, tal como por inclusão de etapas selecionadas do processo no processo inicial de fabricação de material para resultar em um material que possua características desejadas de porosidade, permeabilidade, densidade aparente ou gravidade específica aparente, combinações das mesmas. Por exemplo, tais matérias-primas podem ser queimadas à temperatura relativamente baixa de em torno de aproximadamente 668°C ou aproximadamente 700 °C para se conseguir uma estrutura cristalina desejada e uma estrutura mais altamente porosa e mais leve. Em um exemplo de modalidade de tais partículas, como descrito alhures neste caso, pode ser selecionado um material poroso de tamanho de trama 20/40 de

partículas caulínicas queimadas de Carbo Ceramics Inc. para uso no método descrito. Estas partículas têm as seguintes características internas: densidade aparente global de aproximadamente 1,16, porosidade interna de aproximadamente 59,3 %. Estas partículas podem ser tratadas com uma variedade de materiais penetrantes / de revestimento em uma quantidade de desde aproximadamente 0,5 até aproximadamente 10 % por peso total da partícula. Tais partículas revestidas podem ser fabricadas e/ou fornecidas, por exemplo, por Fritz Industries of Mesquite, Texas.

[0061] Em um exemplo de caso, o tamanho de um tal material pode ser selecionado para estar na faixa de desde aproximadamente trama 200 até aproximadamente trama 8.

[0062] Em um caso tal, as partículas podem ser selecionadas baseadas nas características de porosidade e/ou de permeabilidade de modo que elas tenham características desejadas de peso leve. Como antes, a porosidade inerente e/ou induzida de uma partícula de material poroso pode ser selecionada de modo a ajudar a fornecer o desejado equilíbrio entre a densidade aparente e a resistência. Podem ser empregados materiais opcionais juntamente com um material de vitrificação, penetrante e/ou de revestimento para controlar a penetração tal como melhorar ou prejudicar a penetração. Por exemplo, em uma modalidade pode ser primeiro aplicado um estabilizador catiônico de argila, tal como CLAY MASTER 5C da BJ Services, à superfície externa de um material poroso de cerâmica para inibir a penetração pelo material de revestimento / penetrante, tal como epóxi ou resina descrita alhures neste caso.

[0063] Em um material particulado poroso configurado seletivamente, o material particulado poroso é tratado quimicamente para conferir propriedades físicas desejadas, tais como porosidade, permeabilidade, densidade aparente ou gravidade específica aparente

ou combinações das mesmas aos materiais particulados. Tais propriedades físicas desejadas são distintas das propriedades físicas dos materiais porosos particulados antes do tratamento.

[0064] As propriedades físicas desejadas também podem estar presentes em materiais porosos particulados configurados não seletivamente. Os materiais porosos particulados configurados não seletivamente devem incluir materiais porosos de cerâmica que ocorrem naturalmente assim como materiais não naturais (sintéticos) fabricados de uma maneira que tornam desejadas tais características.

[0065] O material particulado poroso configurado não seletivamente é selecionado à base de propriedades físicas desejadas, tais como porosidade, permeabilidade, densidade aparente, tamanho da partícula, resistência química ou combinações dos mesmos.

[0066] O material particulado poroso configurado seletivamente assim como o material particulado poroso configurado não seletivamente exibem resistência à moagem sob condições tão altas quanto esforço de fechamento de 69 MPa, API RP 56 ou API RP 60, geralmente esforço de fechamento entre aproximadamente 1,7 MPa até aproximadamente 55,2 MPa, em combinação com uma gravidade específica aparente menor do que ou igual a 2,4, para satisfazer as condições de bombeamento e/ou de formação buraco abaixo de uma aplicação em particular, tais como tratamento de fratura hidráulica, tratamento de controle de areia.

[0067] Tais propriedades físicas desejadas podem ser conferidas a uma parte ou partes do material poroso particulado do material poroso particulado configurado seletivamente ou do material poroso particulado configurado não seletivamente tais como sobre a superfície da partícula do material particulado na ou dentro da superfície da partícula do material particulado, em uma área próxima da superfície

da partícula de um material particulado, no interior da matriz da partícula de um material particulado ou de uma porção do mesmo, combinações do mesmo, etc.

[0068] Vantajosamente, em uma modalidade a baixa gravidade específica aparente do material poroso particulado do material poroso particulado configurado seletivamente ou do material poroso particulado configurado não seletivamente pode tirar vantagem do resultado em uma grande fratura ou largura de compactação de fracionados para a mesma carga, tal como libra por pé ao quadrado de propante, para proporcionar um volume total muito grande e aumentar a largura para a mesma massa. Alternativamente, essa característica considera uma carga menor de material propante a ser bombeada enquanto ainda alcança uma largura equivalente.

[0069] Em uma modalidade preferida, configuração seletiva, tal como pelo uso de vitrificação, revestimento e /ou materiais de penetração, tais como aqueles materiais descritos em outro lugar aqui, pode ser empregada seletivamente para modificar ou personalizar a gravidade específica aparente de um material poroso particulado selecionado. A modificação da gravidade específica aparente do particulado, para se ter uma maior ou menor gravidade específica aparente, pode ser empregada de forma vantajosa, por exemplo, para prover particulados de propante ou de controle de areia de gravidade específica aparente personalizada para uso como um particulado flutuante substancialmente neutro com uma variedade de diferentes larguras ou fluídos carreadores de gravidade específica aparente.

[0070] O material poroso particulado configurado seletivamente apresenta uma densidade aparente de cerca de $1,1 \text{ g/cm}^3$ a cerca de $2,6 \text{ g/cm}^3$, uma densidade de massa aparente de cerca de $1,03 \text{ g/cm}^3$ a cerca de $1,5 \text{ g/cm}^3$, e uma porosidade interna de cerca de 10 a cerca de 75% do volume. Em um exemplo, a densidade de massa pode ser

controlada para estar na faixa de cerca de 1,1 g/cm³ a cerca de 1,5 g/cm³, ainda que valores maiores e menores também sejam possíveis.

[0071] O material poroso particulado configurado seletivamente, bem como o material particulado configurado não seletivamente estão geralmente entre cerca de 200 mesh a cerca de 8 mesh.

[0072] O material poroso particulado configurado seletivamente pode compreender material poroso particulado seletivamente alterado pelo tratamento com um material de revestimento ou de penetração, usando qualquer processo apropriado de secagem ou umedecimento. Métodos para revestimento de particulados, tais como partículas de propante de fratura, com materiais tais como resina, são conhecidos do estado da técnica, e tais materiais estão disponíveis, por exemplo, a partir dos fabricantes aqui listados. Com relação ao revestimento dos materiais porosos particulados revelados, operações de revestimento podem ser executadas usando qualquer método apropriado conhecido da técnica.

[0073] Como usado aqui, o termo “penetração” refere-se ainda à impregnação completa ou parcialmente com um material penetrante, como por exemplo, vácuo e/ou impregnação por pressão. Por exemplo, material poroso particulado pode ser submerso em um segundo material e então exposto à pressão e/ou vácuo até pelo menos penetrar ou impregnar parcialmente o material.

[0074] Os versados na técnica entenderão que um ou mais revestimentos e/ou materiais de penetração podem ser selecionados para tratar um material poroso particulado para encontrar padrões ou requerimentos específicos de determinada aplicação de fundo de poço com base nas informações e exemplos aqui revelados, bem como no conhecimento contido na técnica. Nesse sentido, as características da partícula de material poroso, tais como características da composição, porosidade e permeabilidade do material particulado, tamanho e/ou

características do material de penetração ou de revestimento, tais como composição, quantidade, espessura ou grau de penetração, podem ser então selecionadas. O material de revestimento ou de penetração é tipicamente não poroso.

[0075] As características de porosidade e permeabilidade do material poroso particulado permitem que o material de penetração seja atraído pelo menos parcialmente para dentro da matriz porosa do material poroso particulado por ação capilar, por exemplo, em uma maneira similar a que a esponja absorve água. Alternativamente, um ou mais materiais de penetração podem ser atraídos pelo menos parcialmente para dentro da matriz porosa do material poroso particulado usando vácuo, e/ou podem ser forçados pelo menos parcialmente para dentro da matriz porosa sob pressão.

[0076] Exemplos de materiais de penetração que podem ser selecionados para uso incluem, mas não estão limitados a, resinas líquidas, plásticos, cimentos, selantes, aglutinantes ou qualquer outro material adequado para pelo menos parcialmente penetrar na matriz porosa da partícula selecionada para prover as características desejadas de resistência a força/compressão, gravidade específica aparente, etc. Será entendido que as combinações selecionadas de quaisquer dois ou mais de tais materiais de penetração também poderão ser empregadas tanto em mistura quanto em aplicações de penetração sequenciais.

[0077] Exemplos de resinas que podem ser empregadas como materiais de penetração e/ou de revestimento incluem, mas não estão limitados a, resinas e/ou plásticos, ou qualquer outro cimento, selante ou aglutinante que uma vez colocados pelo menos parcialmente no interior de uma partícula selecionada possa ser reticulado e/ou curado para formar um material rígido ou substancialmente rígido no interior da estrutura porosa da partícula. Exemplos específicos de plásticos

incluem, mas não estão limitados a, náilon, polietileno, estireno, etc e combinação dos mesmos. Resinas adequadas incluem resinas fenol formaldeído, resinas melamina formaldeído, e resinas de uretano, resinas de uretano de baixa volatilidade, tais como essas e de outros tipos de resinas disponíveis da Borden Chemical Inc., Santrol, Hepworth of England, resinas epóxi e mistura das mesmas.

[0078] Exemplos específicos de resinas adequadas incluem, mas não estão limitados à, resinas da Borden Chemical e identificada como resinas série-500 e série-700 (e.g., 569C, 794C, etc.). Exemplos específicos adicionais de resina incluem, mas não estão limitados à, série SIGMASET das resinas de uretanos com baixa temperatura de cura da Borden Chemical, tais como SIGMASET, SIGMASET LV, SIGMASET XL, resinas fenólicas ALPHASET da Borden Chemical, resina fenólica OPTI-PROP da Santrol e resina com baixa temperatura de cura POLAR PROP da Santrol. Quando desejado, as características de cura, tal como tempo de cura, podem ser ajustadas para combinar com um método de tratamento específico e/ou com especificações do produto final através, por exemplo, do ajuste de quantidades relativas dos componentes da resina. Ainda exemplos adicionais de resinas adequadas e métodos de revestimento incluem, mas não estão limitados a, àqueles encontrados no pedido de patente europeu EP 0 771 935 A1; e nas Patentes U.S. 4.869.960; 4.664.819; 4.518.039; 3.929.191; 3.659.651; e 5.422.183, cada uma das referências estrangeiras sendo inteiramente incorporada aqui por referência.

[0079] Em uma modalidade exemplar, uma resina fenólica curável ou outro material curável apropriado, pode ser selecionado e aplicado como um material de revestimento de modo que partículas revestidas individualmente possam ser ligadas sob temperaturas de fundo de poço, após a resina escorrer e reticular/curar no fundo do poço, assim

como facilitar a consolidação de particulados para controle areia/compactação de propante após colocação.

[0080] Alternativamente, um revestimento de resina fenólica do tipo curada ou outro material curado adequado pode ser selecionado para causar resistência adicional às partículas e/ou reduzir *in situ* migrações de finos uma vez colocadas em uma formação subterrânea. O grau de penetração do fluido de revestimento ou de penetração no material poroso particulado pode ser limitado pela porosidade desligada, tal como porosidade substancialmente isolada ou impermeável, dentro do interior da matriz do particulado.

[0081] Isto pode limitar a extensão da penetração uniforme de material de penetração de uma maneira uniforme em direção ao núcleo, tal como deixando uma seção transversal da partícula estratificada que tem uma camada de penetração do lado de fora com núcleo não penetrado substancialmente esférico e/ou pode causar penetração não uniforme em todo o núcleo, tal como por sobreposição de "ilhas" de porosidade desligada, porém penetrando em todo o núcleo. Em qualquer eventualidade, um material de penetração e/ou de revestimento pode aprisionar ou encapsular ar (ou outro fluido que tenha gravidade específica aparente menor do que a da matriz da partícula e menor do que do material de revestimento / penetração) dentro da porosidade desligada para reduzir a gravidade específica aparente na quantidade desejada. Um tal material reveste e/ou penetra o particulado poroso sem invadir a porosidade para encapsular eficazmente o ar dentro da porosidade da partícula. A encapsulação do ar fornece a preservação do caráter de peso ultraleve das partículas, uma vez colocadas no fluido de transporte. Se os fluidos de revestimento da resina ou de transporte precisam penetrar significativamente a porosidade da partícula, a densidade aumenta conseqüentemente e a partícula não tem mais as mesmas

propriedades de peso leve. O revestimento de resina também aumenta e melhora substancialmente a permeabilidade do compacto de propante a um esforço elevado.

[0082] As camadas de revestimento podem ser aplicadas como desejado para contribuir a resistência da partícula e/ou para reduzir in situ a migração de finos uma vez colocadas em uma formação subterrânea. O revestimento aumenta significativamente a resistência e a resistência à moagem, ajuda a resistir à incrustação e evita a liberação de finos.

[0083] O revestimento ou o fluido de penetração é tipicamente selecionado para ter uma gravidade específica aparente menor do que a gravidade específica aparente do material poroso particulado de modo que uma vez penetrado pelo menos parcialmente nos poros da matriz ele resulta em uma partícula que tem uma gravidade específica aparente menor do que do material poroso particulado antes do revestimento ou da penetração, isto é, o enchimento dos espaços do poro de um material poroso particulado resulta em uma partícula sólida ou substancialmente sólida que tem uma densidade aparente muito reduzida.

[0084] Por exemplo, o material poroso particulado selecionado pode ser tratado com um material penetrante selecionado de uma maneira tal que o material poroso particulado configurado seletivamente tenha uma densidade aparente reduzida, tal como tendo uma densidade aparente mais próxima ou aproximadamente da gravidade específica aparente de um fluido carreador de modo que este seja flutuante ou semiflutuante neutro em um fluido de fratura ou em um fluido de controle de areia.

[0085] Alternativamente, um material penetrante pode ser selecionado de modo que ajude estruturalmente o suporte da matriz do material poroso particulado (isto é, aumente a resistência da matriz

porosa) e aumente a capacidade de o particulado aguentar os esforços de fechamento de uma formação fraturada hidráulica ou outros esforços buraco abaixo.

[0086] Por exemplo, um material penetrante pode ser selecionado equilibrando-se a necessidade de baixa densidade aparente versus o desejo de resistência, isto é, um material mais denso pode fornecer uma resistência muito maior. Sob este aspecto, a porosidade inerente e/ou induzida do material poroso particulado pode ser selecionada de modo a ajudar a fornecer o desejado equilíbrio entre a densidade aparente e a resistência. Será entendido que outras variáveis, tais como as condições de temperatura e do fluido, também podem provocar impacto na escolha de materiais penetrantes.

[0087] A camada de revestimento ou o material penetrante está geralmente presente no material poroso particulado configurado seletivamente em uma quantidade de desde aproximadamente 0,5 % até aproximadamente 10 % em peso de peso total. A espessura da camada de revestimento do material poroso particulado configurado seletivamente está geralmente entre desde aproximadamente 1 até aproximadamente 5 microns. A extensão de penetração do material penetrante do material poroso particulado configurado seletivamente é desde menor do que aproximadamente 1 % de penetração em volume até menos do que aproximadamente 25 % de penetração em volume.

[0088] São obtidos resultados especialmente preferidos quando o material poroso particulado for uma partícula porosa de cerâmica que tem uma densidade aparente de 1,25 ou menos e a porosidade não tratada é aproximadamente 60 %. Tais materiais podem ser tratados com um material de revestimento que não penetra na matriz porosa do material poroso particulado ou que penetra apenas parcialmente na matriz porosa do material particulado de cerâmica. Tais materiais de cerâmica tratados podem ter uma densidade aparente de desde

aproximadamente 1,1 g/cm³ até aproximadamente 1,8 g/cm³ (alternativamente desde aproximadamente 1,75 g/cm³ até aproximadamente 2 g/cm³ e ainda alternativamente aproximadamente 1,9 g/cm³), uma densidade aparente global de desde aproximadamente 1,03 g/cm³ até aproximadamente 1,5 g/cm³ e uma porosidade interna tratada de desde aproximadamente 45 % até aproximadamente 55 %. No entanto, também são possíveis os valores destas faixas de exemplo.

[0089] Como um exemplo, foi observado que uma cerâmica porosa tratada com aproximadamente 6 % de epóxi exibe uma densidade aparente global de desde aproximadamente 1,29 e uma porosidade de aproximadamente 50,6 %, uma cerâmica porosa tratada com aproximadamente 8 % de epóxi exibe uma densidade aparente global de desde aproximadamente 1,34 e uma porosidade de aproximadamente 46,9 %, uma cerâmica porosa tratada com aproximadamente 6 % de resina fenol formaldeído exibe uma densidade aparente global de desde aproximadamente 1,20 e uma porosidade de aproximadamente 51,8 % e uma cerâmica porosa tratada com aproximadamente 8 % de resina fenol formaldeído exibe uma densidade aparente global de desde aproximadamente 1,20 e uma porosidade de aproximadamente 54,1%.

[0090] Nesta modalidade, um material pra revestimento ou um material penetrante pode ser selecionado para estar presente em uma quantidade de desde aproximadamente 0,5 % até aproximadamente 10 % em peso de peso total de partículas individuais. Quando presentes, podem ser selecionadas espessuras de um material de revestimento para ser desde aproximadamente 1 até aproximadamente 5 microns no exterior de uma particular. Quando presente, a extensão de penetração do material de penetração em uma particular de materia1 poroso pode ser selecionada para estar

desde menos do que aproximadamente 1 % de penetração em volume até menos do que aproximadamente 25 % de penetração em volume da partícula. Será entendido que quantidades de revestimento, espessura de revestimento e quantidades de penetração podem estar fora destes exemplos de faixa da mesma forma.

[0091] Além disso, o material poroso particulado pode ser pelo menos parcialmente configurado seletivamente por vitrificação, tal como, por exemplo, vitrificação na superfície com um ou mais materiais de vitrificação não porosos. Em um tal caso, a camada de vitrificação, como o revestimento ou o material de penetração, pode se estender ou penetrar pelo menos parcialmente para dentro da matriz porosa do material poroso particulado, dependendo do método de vitrificação empregado e/ou das características de permeabilidade (isto é, conectividade de porosidade interna) do material poroso particulado selecionado, tal como porosidade não conectada que não permite substancialmente que ocorra penetração. Por exemplo, um material poroso particulado selecionado pode ser configurado seletivamente, tal como vitrificado e/ou revestido com um material não poroso, de uma maneira tal que a matriz porosa da partícula resultante seja pelo menos parcialmente ou completamente cheia de ar ou de algum outro gás, isto é, o interior da partícula resultante inclui apenas ar/gás e o material estrutural que forma e circunda os poros. Mais uma vez, a porosidade inerente e/ou induzida de uma partícula de material poroso pode ser selecionada de forma a auxiliar a fornecer o equilíbrio desejado entre a densidade e a resistência aparente e a vitrificação e/ou o revestimento sem penetração (ou extensão da área configurada na matriz da partícula) podem ser selecionados para resultarem em uma partícula que possui toda ou substancialmente toda a porosidade da partícula que não está sendo penetrada e encapsulada para conter ar ou outro fluido com peso relativamente leve de forma a atingir uma

gravidade específica aparente mínima. Em adição a selar uma partícula, de forma a selar ar/gás dentro da matriz porosa da partícula, tal configuração seletiva, tal como a utilização de materiais para vitrificação e/ou revestimento, pode ser selecionada para fornecer outras vantagens.

[0092] Em uma modalidade preferida, o material particulado poroso, tal como as partículas caoliníticas tratadas com fogo descritas anteriormente, é produzido através da utilização de um material formador de vitrificação para formar uma vitrificação no selo ou diferentemente alterar a permeabilidade da superfície da partícula, de forma que uma partícula fornecida é menos susceptível à invasão ou à saturação através de um fluido de tratamento de poços e assim capaz de manter o peso relativamente leve ou características de flutuação substancialmente neutras em relação ao fluido de tratamento de poços após a exposição a tal fluido. Tal vitrificação pode ser realizado utilizando qualquer método adequado para a formação de uma vitrificação na superfície ou na superfície próxima de uma partícula, incluindo através da incorporação de um material formador de vitrificação no material bruto "pasta verde" que é então formado tal como moldado na forma da partícula antes do tratamento com fogo. Os peritos na técnica reconhecem que as vitrificações podem ser feitos partindo de uma variedade de métodos, incluindo a aplicação de um revestimento vítreo mole de forma que seja formada uma superfície não porosa dura. As vitrificações podem ser formadas partindo de vidro em pó com óxidos. A mistura de pós é suspensa em água e aplicada ao substrato. A vitrificação pode ser seca e então fixada sobre o substrato através do tratamento com fogo ou de um processo similar conhecido pelos peritos na arte. Adicionalmente, o uso de boratos ou de aditivos similares pode aumentar a vitrificação.

[0093] Os exemplos de tais materiais formadores de vitrificação

incluem, mas não estão limitados aos materiais tais como o material com base no óxido de magnésio, o material com base no ácido bórico/óxido bórico etc. Durante o tratamento com fogo, o(s) material(is) formadores de "apogeu" da vitrificação na superfície das partículas e formam uma vitrificação. Alternativamente, a vitrificação pode ser realizada, por exemplo, através da aplicação de um material formador de vitrificação adequada sobre a superfície do material bruto formado ou partículas "verdes" antes do tratamento com fogo tal como através do borrifamento, do mergulho e de métodos similares de forma que a produção de vitrificação ocorra durante o tratamento da partícula com fogo. Ainda alternativamente, um material formador de vitrificação pode ser aplicado a uma partícula de cerâmica submetida ao tratamento com fogo e então tratada novamente com fogo em uma etapa separada de formação de vitrificação. Em uma modalidade, a vitrificação forma uma superfície relativamente dura e relativamente não porosa durante o tratamento com fogo das partículas.

[0094] As vantagens de tal tratamento de vitrificação incluem a manutenção da densidade aparente relativamente baixa de uma partícula porosa com peso relativamente baixo sem a necessidade de uma alteração adicional, tal como a necessidade de revestir com um revestimento polimérico separado, embora revestimentos opcionais possam ser aplicados se for assim desejado. Além disso, a superfície vítrea relativamente lisa de tal partícula também pode servir para aumentar a facilidade do fluxo de fluidos de várias fases, tal como o fluxo da água e do gás e do óleo, através de uma compactação particulada, tal como através de uma compactação em uma fratura, resultando em uma maior condutividade da fratura.

[0095] Em uma modalidade alternativa, um ou mais tipos de material particulado poroso configurado seletivamente descrito ou de material particulado poroso configurado não seletivamente podem ser

empregados como particulados com a finalidade de tratamento de poços em combinação com uma variedade de tipos diferentes de fluidos para tratamento de poços (incluindo sistemas baseados no CO₂ líquido e outro gás liquefeito ou fluidos carreadores de gás espumado) e/ou outros tipos de particulados de forma a atingir vantagens sinérgicas, sendo entendido que as vantagens dos métodos e das composições descritos podem ser atingidas quando se emprega apenas um tipo dos materiais porosos descritos como um único particulado para tratamento de poços. Além disso, embora exemplos de modalidades sejam descritos aqui com referência a materiais porosos e a materiais porosos com peso relativamente leve, será entendido que as vantagens dos métodos e das composições descritos podem ser também realizadas quando aplicadas em materiais que podem ser caracterizados como com peso não relativamente leve e/ou não porosos na natureza.

[0096] A eliminação da necessidade de formular um gel de suspensão complexo pode significar uma redução nas pressões de atrito da tubulação, particularmente em tubulação em serpentina e na quantidade de equipamento de mistura no local e/ou requerimentos de tempo de mistura, assim como custos reduzidos. Além disso, quando configurado seletivamente, tal como através de vitrificação e/ou através de tratamento com material de revestimento/penetração, para ter resistência suficiente e propriedades relativas de peso baixo, as partículas relativamente descritas podem ser empregadas para simplificar os tratamentos hidráulicos de produção de fraturas ou tratamentos de controle de areia realizados através da tubulação em serpentina, reduzindo enormemente os requerimentos da propriedade de suspensão do fluido. Buraco abaixo, uma propensão muito reduzida de assentamento (quando comparada com os particulados propante ou de controle de areia convencionais) pode ser atingida,

particularmente em secções de buraco de poço altamente desviadas ou horizontais. Sob este aspecto, o material particulado descrito pode ser vantajosamente empregado em qualquer poço desviado que possui um ângulo de desvio entre aproximadamente 0 grau e aproximadamente 90 graus em relação à vertical. Entretanto, em uma modalidade, o material particulado descrito pode ser vantajosamente empregado em poços horizontais ou em poços desviados que possuem um ângulo em relação aos verticais dentre aproximadamente 30 graus e aproximadamente 90 graus, alternativamente entre aproximadamente 75 graus e aproximadamente 90 graus. Assim, o uso dos materiais particulados descritos aqui pode ser empregado para atingir melhorias surpreendentes e inesperadas na metodologia de produção de fraturas e de controle da areia, incluindo a redução da compactação e/ou a formação de danos e a melhoria da produtividade de poço.

[0097] Será entendido que as características de materiais de vitrificação, materiais de penetração e/ou materiais de revestimento fornecidos aqui, tais como composições, quantidades, tipos, são apenas exemplos. Sob este aspecto, tais características podem ser selecionadas com a vantagem desta descrição pelos peritos na técnica para satisfazer e suportar as condições buraco abaixo antecipadas de uma certa aplicação utilizando métodos conhecidos na técnica, tais como os descritos aqui.

[0098] Em uma outra modalidade descrita, podem ser empregadas mesclas de dois ou mais tipos diferentes de partículas que possuem características particuladas diferentes, tal como porosidade diferente, permeabilidade, densidade aparente ou gravidade específica aparente, velocidade de decantação no fluido carreador, como particulados com tratamento de poços. Tais mesclas podem conter pelo menos um material poroso e pelo menos um outro material particulado que pode

ou não ser um material particulado poroso.

[0099] Em adição, o material particulado poroso seletivamente configurado e o material particulado poroso não seletivamente configurado podem ser utilizados na forma de duas ou mais camadas múltiplas. Sob este aspecto, camadas sucessivas de tais materiais podem ser empregadas. Por exemplo, as camadas múltiplas podem consistir em pelo menos um material particulado poroso seletivamente configurado e pelo menos um material particulado poroso não seletivamente configurado.

[00100] Em um exemplo de modalidade, um material selecionado para revestimento ou penetração pode ser um uretano, tal como uma resina com base em carbamato de etila, aplicada em uma quantidade de aproximadamente 4% em peso do peso total da partícula do material poroso selecionado. Um material para revestimento selecionado pode ser aplicado para conseguir uma camada de revestimento de pelo menos aproximadamente 2 microns de espessura no exterior da partícula do material poroso selecionado.

[00101] Tais mesclas podem ser adicionalmente empregadas em qualquer tipo de aplicação para tratamento de poços, incluindo em qualquer um dos métodos de tratamento de poços descritos em outro lugar aqui. Em um exemplo de modalidade, tais mesclas podem ser empregadas para otimizar as geometrias da fratura hidráulica para atingir uma maior produtividade de poços, de forma a atingir um maior comprimento de fratura submetida ao propante em formações gasosas relativamente "firmes". A escolha de materiais particulados diferentes e das quantidades dos mesmos para emprego em tais mesclas podem ser baseadas em uma ou mais considerações de tratamento de poços incluindo, mas não limitadas ao(s) objetivo(s) do tratamento de poços, tal como para o controle da areia e/ou para a criação de fraturas submetidas ao propant, às características de fluido para tratamento de

poços, tais como a gravidade específica e/ou a reologia aparentes do fluido carreador, às condições de poço e de formação tais como a profundidade da formação, a porosidade/permeabilidade da formação, tensão de fechamento da formação, ao tipo de otimização desejada para a geometria de particulados colocados buraco abaixo tais como o comprimento submetido ao propante otimizado da compactação de fratura, a altura otimizada da compactação de controle de areia, a compactação otimizada de fratura e/ou a condutividade da compactação de controle de areia e combinações dos mesmos.

[00102] Tais tipos diferentes de partículas podem ser selecionados, por exemplo, para conseguir uma mescla de gravidades específicas ou densidades relativas diferentes para o fluido carreador selecionado. Por exemplo, uma mescla de três partículas diferentes pode ser selecionada em um tratamento de fratura em água para formar uma mescla de particulados para tratamento de poços que possuem três gravidades específicas diferentes, tais como a gravidade específica aparente do primeiro tipo de partícula de aproximadamente até menos de aproximadamente 1,5; a gravidade específica aparente do segundo tipo de partícula de mais de aproximadamente 1,5 até aproximadamente 2,0; e a gravidade específica do terceiro tipo de partícula de aproximadamente mais de 2,0 até aproximadamente 3,0; ou em uma modalidade específica os três tipos de partículas que possuem gravidades específicas respectivas de aproximadamente 2,65, aproximadamente 1,7 e aproximadamente 1,2, deve ser entendido que os valores de gravidade específicos aparentes anteriores são somente exemplos e que outras gravidades específicas e faixas de gravidades específicas podem ser empregadas. Em um exemplo, pelo menos um dos tipos de particulados para tratamento de poços selecionados pode ser selecionado como tendo flutuação substancialmente neutra no fluido carreador selecionado.

[00103] Tais tipos diferentes de partículas podem ser selecionados para uso em qualquer quantidade adequada para atingir os resultados e/ou os custos desejados para o tratamento de poços. Entretanto, em uma modalidade, vários tipos de partículas podem ser selecionadas para uso em uma mescla de particulados para tratamento de poços em quantidades que são aproximadamente equivalentes em proporção com base no peso total da mescla. Assim, três tipos diferentes de partículas podem cada um ser empregados nas quantidades respectivas de aproximadamente 1/3 da mescla total tal como em peso total da mescla, quatro tipos diferentes de partículas podem ser cada um empregados em quantidades respectivas de aproximadamente 1/4 da mescla total tal como em peso total ou a mescla. Entretanto, estas quantidades relativas são somente exemplos, devendo ser entendido que qualquer quantidade relativa desejada de cada tipo selecionado de particulado de poço pode ser empregada, tal como para um exemplo de modalidade de mescla que possui três tipos diferentes de partículas, tais como as selecionadas dos tipos diferentes de partículas descritos em outro lugar aqui, as quantidades de cada tipo selecionado de partícula podem estar presentes na mescla em uma quantidade que varia de aproximadamente 10% até aproximadamente 40% tal como em peso total da mescla para atingir 100% do peso da mescla total.

[00104] Será entendido com a vantagem desta descrição que a escolha de materiais particulados diferentes e de quantidades dos mesmos para emprego em tais mesclas pode ser feita utilizando qualquer metodologia adequada para a avaliação de tais mesclas em vista de uma ou mais considerações para tratamento de poços. Em uma modalidade, qualquer método conhecido na técnica adequada para a modelagem ou para a previsão da compactação de controle de areia ou da geometria/condutividade da compactação de fratura pode

ser empregado, tal como ilustrado e descrito em relação ao Exemplo 4 contido aqui.

[00105] Os exemplos de tipos de partículas diferentes que podem ser selecionados para uso em tais mesclas incluem, mas não estão limitados aos particulados convencionais de areia, tal como a areia de Ottawa, aos particulados para tratamento de poços com peso relativamente baixo, tais como cascas de nozes moídas ou esmagadas pelo menos parcialmente circundadas por pelo menos um componente de camada de revestimento protetor ou de endurecimento, aos materiais porosos configurados seletivamente, tais como qualquer um ou mais dos materiais porosos configurados seletivamente descritos aqui, tais como partículas que podem ser deformadas. Os exemplos adicionais de tipos de partículas que podem ser selecionados para uso em tais mesclas incluem qualquer uma das partículas descritas no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 10/113.844, depositado em 1º de abril de 2002; no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 09/579.146, depositado em 25 de maio de 2000; Patente U.S. Nº 6.364.018; Patente U.S. Nº 6.330.916; e Patente U.S. Nº 6.059.034, das quais cada uma é incorporada aqui como referência.

[00106] Em um exemplo de modalidade, as mesclas selecionadas de propante de areia convencional, particulados de peso relativamente baixo de cascas de nozes moídas ou esmagadas pelo menos parcialmente circundados por pelo menos um componente de camada protetora ou revestimento para endurecimento e materiais porosos configurados seletivamente tais como partículas caoliníticas tratadas com fogo de material poroso com peso relativamente baixo tratadas com materiais penetrantes/de revestimento descritos aqui podem ser empregadas em um tratamento hidráulico de fratura utilizando fluido carreador não gelificado ou fracamente gelificado. Um exemplo específico de tal mescla é descrito no Exemplo 4 contido aqui. Em tal

modalidade, estes tipos diferentes de partículas podem ser empregados em qualquer volume relativo ou quantidade de peso ou proporção adequada para atingir os resultados de tratamento de poços desejados.

[00107] Em um exemplo específico, estes tipos diferentes de partículas podem ser empregados em uma composição particulada para tratamento de poços que inclui aproximadamente 1/3 em peso de propante de areia convencional em peso total de particulado para tratamento de poço, aproximadamente 1/3 em peso de particulado de peso relativamente baixo, tal como o cerne de cascas de nozes moídas ou esmagadas pelo menos parcialmente circundadas por pelo menos um componente de camada de revestimento protetor ou de endurecimento em peso total de particulado para tratamento de poço e aproximadamente 1/3 em peso de material poroso de peso relativamente baixo configurado seletivamente, tais como partículas caoliníticas tratadas com fogo com materiais penetrantes/de revestimento descritos aqui, em peso total de particulado para tratamento de poços. Será entendido que as quantidades relativas anteriores são somente exemplos e podem ser variadas, por exemplo, para atingir os resultados desejados e/ou satisfazer os objetivos de custo de um certo tratamento. Será também entendido que os métodos e as composições descritos podem ser praticados com tais mesclas utilizando outros tipos de materiais particulados com peso relativamente baixo como descrito em outro lugar aqui, tais como materiais poliméricos porosos, tais como poliolefinas, materiais com base em estireno-divinilbenzeno, ésteres de poliacrilato e amidos modificados. Ainda, qualquer um dos materiais porosos descritos pode ser empregado na forma "pura" ou inalterada nas mesclas descritas quando a densidade aparente e outras características da partícula são adequadas para satisfazer os requerimentos da certa aplicação de

tratamento de poços.

[00108] Em um aspecto, são descritos métodos de tratamento de poços, tais como a produção hidráulica de fraturas e o controle de areia, que podem ser empregados para tratar um poço que penetra em uma formação subterrânea e incluem a introdução em um poço de um material particulado poroso selecionado que é tratado com um material de revestimento selecionado, um material de penetração selecionado ou uma combinação dos mesmos. As partículas individuais do material particulado podem opcionalmente ter uma forma com uma proporção de aspecto baseado no comprimento máximo equivalente ou menor que aproximadamente 5. Em uma modalidade, os materiais particulados porosos podem ser qualquer material particulado com características de porosidade e/ou permeabilidade internas adequadas para atingir as propriedades de partículas acabadas desejadas quando combinadas com materiais de penetração /de revestimento selecionados como descrito em outro lugar aqui.

[00109] Os exemplos de particulados de materiais porosos adequados que podem ser selecionados para uso em fluidos carreadores de base aquosa incluem, mas não estão limitados às cerâmicas porosas, aos materiais poliméricos porosos ou a qualquer outro material poroso ou combinações dos mesmos adequadas para a seleção da combinação da porosidade e da permeabilidade interna para atingir propriedades desejadas, tais como resistência e/ou gravidade específica, para condições particulares buraco a dentro e/ou aplicações de tratamento de poços como descrito em outro lugar aqui. Por exemplo, as partículas de cerâmica porosas podem ser produzidas através do tratamento com fogo a temperaturas relativamente baixas para evitar a perda da porosidade por causa da cristalização e a eliminação de água. Os exemplos particulares incluem, mas não estão limitados às partículas de cerâmica porosas disponíveis na Carbo

Ceramics Inc. de Irving, Texas compostas de argila caolinítica que é tratada com fogo à temperatura relativamente baixa de aproximadamente 668°C ou aproximadamente 704°C (ou aproximadamente 700°C e que possui quantidades traço de componentes tais como a cristobalita, a mulita e a opalita), partículas de poliolefina e componentes similares.

[00110] Em uma outra modalidade descrita, os particulados ou mesclas de peso relativamente baixo incluindo tais particulados que são descritos em outro lugar aqui, tal como incluindo particulados configurados seletivamente e/ou particulados configurados não seletivamente descritos em outro lugar aqui, podem ser vantajosamente empregados como particulados para tratamento de poços, tal como o particulado propante para produção de fratura ou o particulado de controle de areia, em fluidos carreadores de gás liquefeito ou de gás espumado.

[00111] Os exemplos de tipos de tais fluidos carreadores incluem, mas não estão limitados aos sistemas com base em CO₂ líquido, sistemas de CO₂/N₂ e N₂ espumoso em CO₂ que podem ser empregados em aplicações de produção de fraturas hidráulicas. Em uma modalidade específica, os particulados de poços de cerâmica porosos que possuem uma densidade de massa aparente próxima a ou de aproximadamente 1,0 g/cm³, na forma configurada seletivamente ou configurada não seletivamente, podem ser empregados com tais fluidos carreadores de gás liquefeito e/ou gás espumado, tais como sistemas baseados em CO₂ líquido, sistemas com CO₂ líquido, CO₂/N₂ e N₂ espumoso em CO₂.

[00112] Em uma outra modalidade específica, podem ser empregados os particulados configurados seletivamente e/ou os particulados configurados não seletivamente que podem ser caracterizados como flutuantes de forma substancialmente neutra em

tais fluidos carreadores de gás liquefeito e/ou gás espumado.

[00113] O CO₂ líquido possui uma densidade próxima a aproximadamente 1,02 g/cm³ sob condições típicas de produção de fraturas e os propantes convencionais, tal como a areia ou os propantes de cerâmica de peso não relativamente baixo possuem uma tendência de assentar nos sistemas com base no CO₂ líquido. Além disso, o CO₂ líquido possui muito pouca de alguma viscosidade e, portanto, o transporte de propantes em um sistema com base em CO₂ líquido é fornecido através da turbulência e de forças de fricção e as fraturas criadas pelo CO₂ líquido são típica relativamente estreitas. Vantajosamente, utilizando os métodos e as composições descritas, o transporte de propantes de particulados com peso relativamente baixo é mais fácil que o transporte de propantes de propantes de areia convencionais ou de propantes de cerâmica de peso não relativamente baixo.

[00114] Em um exemplo de modalidade, as partículas de cerâmica porosas de peso relativamente baixo podem ser empregadas em sistemas com base em CO₂ líquido. Os exemplos de tipos de tais partículas de cerâmica porosa de peso relativamente baixo incluem, mas não estão limitados às partículas de cerâmica porosa disponível na Carbo Ceramics para aplicações de liberação controlada alteradas no processo de produção para possuírem uma densidade de massa aparente menor que aproximadamente 2,5 g/cm³, alternativamente possuindo uma densidade de massa aparente de aproximadamente 1,0 até aproximadamente 2,0 g/cm³, ainda alternativamente possuindo uma densidade de massa aparente de aproximadamente 1,2 g/cm³ até aproximadamente 2,0 g/cm³.

[00115] Um exemplo específico de partícula de cerâmica poroso com peso relativamente baixo adequada para uso em sistemas com base em CO₂ desta modalidade é o material cerâmico poroso descrito

em outro lugar aqui, na forma configurada seletivamente, como descrito aqui no Exemplo 1 ou na forma configurada não seletivamente ou inalterada ou "pura".

[00116] Em um exemplo de modalidade, a prática dos métodos e das composições descritos, os materiais de cerâmica porosa de peso relativamente baixo ou mesclas dos mesmos podem ser empregados como materiais propante de fratura em sistemas de produção de fraturas com base em CO₂ líquido utilizando metodologias similares ou as mesmas que as empregadas como propantes convencionais em sistemas de produção de fraturas com base em CO₂ líquido. Sob este aspecto, as características de trabalho de produção de fratura baseado em CO₂ líquido, tais como quantidades de propante, tamanhos de propante, metodologias de mistura e bombeamento, utilizando materiais de cerâmica porosa de peso relativamente baixo podem ser as mesmas que as descritas para os propantes convencionais em "The History and Success of Liquid CO₂ and CO₂/N₂ Fracturing System" por Gupta e Bobier, SPE 40016, março de 1998. A informação adicional sobre as características de trabalho de produção de fraturas com base em CO₂ líquido que podem ser empregadas com materiais de cerâmica porosa com peso relativamente baixo pode ser encontrada na Patente U.S. Nº 4.374.545, na Patente U.S. Nº 5.558.160, na Patente U.S. Nº 5.883.053, na Patente Canadense Nº 2.257.028 e na Patente Canadense Nº 2.255.413, das quais cada uma das referências anteriores é incorporada aqui como referência.

[00117] Em um exemplo de modalidade descrita, as partículas de cerâmica porosa de peso relativamente baixo empregadas como particulado propante de fratura em um sistema com base em CO₂ líquido podem ser utilizadas na forma "pura" ou inalterada e podem possuir uma gravidade específica aparentes de aproximadamente 1,17 até aproximadamente 2,0. Em uma outro exemplo de modalidade

descrita, a utilização de partículas de cerâmica porosa de peso relativamente baixo como particulado propante de fratura em um sistema com base em CO₂ líquido permite que a concentração de propante em tal sistema seja vantajosamente estendida até aproximadamente 1200 kg/metro cúbico. Outras vantagens de utilizar as partículas de cerâmica porosas de peso relativamente baixo descritas em sistemas de produção de fraturas com base em CO₂ líquido incluem, mas não estão limitadas ao assentamento reduzido do propante no equipamento de mistura de superfície antes do bombeamento buraco abaixo e maior transporte de propante buraco abaixo e na formação. Será entendido que embora descrito anteriormente para as modalidades que empregam partículas de cerâmica porosa de peso relativamente baixo, os métodos e as composições descritos podem ser praticados com sistemas com base em CO₂ líquido utilizando outros materiais particulados porosos de peso relativamente baixo e mesclas dos mesmos descritas em outro lugar aqui, tais como os materiais poliméricos porosos como as poliolefinas. Qualquer um de tais materiais pode ser empregados na forma “pura” ou inalterada com sistemas com base em CO₂ líquido em que a densidade aparente e outras características da partícula são adequadas para satisfazer os requerimentos da certa aplicação de tratamento de poços ou podem ser alternativamente empregadas na forma configurada seletivamente como descrito em outro lugar aqui.

[00118] Os exemplos a seguir ilustrarão a prática da presente invenção em uma modalidade preferida. Outras modalidades dentro do âmbito das reivindicações contidas aqui serão evidentes para um perito na técnica partindo da consideração do relatório e da prática da invenção como descrito aqui. É pretendido que o relatório descritivo, junto com o exemplo, sejam considerados somente exemplos, com o âmbito e o espírito da invenção sendo indicados pelas reivindicações a

seguir.

EXEMPLOS

[00119] Os exemplos a seguir são ilustrativos e não devem ser interpretados como limitantes do âmbito da invenção ou das reivindicações da mesma.

Exemplo 1:

[00120] Para a obtenção dos dados para este exemplo, foi seguido o procedimento a seguir: Massa medida de 25 mL de amostra em uma proveta graduada. A proveta foi sacudida várias vezes no “counterpot” e o volume ajustado até 25 mL antes da pesagem. Massa/volume = densidade de massa.

Os dados deste exemplo são mostrados na Tabela 1:

TABELA 1	
Densidades de Massa	
Areia	1,721
CarboLite	1,747
Cerâmica Porosa - Pura	1,191
Cerâmica Porosa - 2/2	1,238
Cerâmica Porosa - 6%	1,293
Cerâmica Porosa - 8% P-A	1,224
Cerâmica Porosa - 8% P-B	1,198
Cerâmica Porosa - 10% P	1,32

[00121] A FIG. 1 ilustra as comparações das densidades de massa de vários materiais propantes/ de controle de areia para as amostras de um material de cerâmica porosa selecionado (da Carbo Ceramics, Inc.).

[00122] Nos exemplos, “Carbolite” é um propante comercial disponível na Carbo Ceramics, Inc. “Puro” é o material de cerâmica porosa não tratado da Carbo Ceramics, Inc., “2/2” é o material de cerâmica porosa da Carbo Ceramics, Inc. tratado com 2% em peso de material de partícula de revestimento interno/penetração de epóxi (o

epóxi é o produto da reação da epíclorohidrina e o bis-fenol A) e com 2% em peso de material de partícula para revestimento externo de resina de fenol formaldeído, "6%" é o material de cerâmica porosa da Carbo Ceramics, Inc. tratado com 6% em peso de material de partícula de revestimento/penetração (o epóxi é o produto da reação da epíclorohidrina e o bis-fenol A), "8%P-A" é o material de cerâmica porosa da Carbo Ceramics, Inc. tratado com 8% em peso de resina de partícula de fenol formaldeído (Amostra A), "8%P-B" é o material de cerâmica porosa da Carbo Ceramics, Inc. tratado com 8% em peso de resina de partícula de fenol formaldeído (Amostra B) e "10%P" é o material de cerâmica porosa da Carbo Ceramics, Inc. tratado com 10% em peso de resina de partícula de fenol formaldeído.

[00123] Os dados são apresentados tanto para a partícula de material poroso não tratado quanto para a partícula de material poroso tratado com vários tipos e concentrações de materiais de penetração selecionados. Como pode ser observada, a densidade de massa aparente das partículas resultantes varia com um grau variável de infiltração ou de penetração do material de penetração na partícula de cerâmica porosa. As amostras denominadas como 2/2 e 8%P-B podem ser caracterizadas partindo de análises de secções finas de SEM como possuindo penetração limitada em direção ao cerne da partícula, encapsulamento eficiente aparente do ar na porosidade do cerne da partícula, ainda aumento substancial da resistência da partícula que é ilustrado pelos testes de condutividade.

[00124] As Figuras 2 e 5 ilustram a permeabilidade versus o estresse de fechamento para particulados ULW de cerâmica revestidos e não revestidos. Como mostrado, o revestimento e a impregnação da resina da partícula ULW confere resistência significativa ao longo da faixa de fechamento e em particular, aumenta o desempenho na faixa de baixo até médio do material. Os dados

representam amplitudes de compactações equivalentes para todos os propantes com ajustes feitos para cada densidade respectiva. Tanto as cerâmicas ULW revestidas quanto não revestidas foram testadas a 33,2 kg/m². Cada um destes testes possuía medidas de amplitude aproximadamente idênticas para facilitar a comparação.

Exemplo 2:

[00125] O material particulado poroso empregado era da “Carbo Ceramics” que possui um tamanho de trama de aproximadamente 20/40. O material particulado foi tratado com vários materiais de penetração/revestimento que correspondem aos mesmos materiais de epóxi ou de fenol formaldeído utilizados acima. O material particulado tratado foi testado isoladamente, sem nenhum outro material particulado mesclado no mesmo. Os materiais de comparação incluem Jordan Sand, o propante “Econoprop” da Carbo Ceramics, “Econoflex” (propante Econoprop revestido), areia de Hickory (Brady Sand), “PR6000” areia de Otawa revestida a 2% da BORDEN e o propante “Carbolite” da Carbo Ceramics.

[00126] Os testes de condutividade foram realizados de acordo com API RP 61 (1ª Revisão, 1º de outubro de 1989) utilizando uma célula de condutividade API com insertos laterais de placa fina de arenito de Ohio. Cada amostra de material particulado foi carregada na célula e a tensão de fechamento aplicada no material particulado utilizando uma prensa hidráulica “DAKE” que possui um transdutor diferencial “ROSEMOUNT” (#3051C) e controlado através de um controlador “CAMILE”. Foi também empregada no teste uma bomba de velocidade constante “CONSTAMETRIC 3200” que foi utilizada para o escoamento da água deionizada através de cada amostra particulada.

[00127] A Tabela 2 mostra os dados de Permeabilidade e de Condutividade da compactação de propante gerados para este exemplo.

Tabela 2														
Planilha de Trabalho de Cerâmica Porosa														
	PC pura	PC - 4% epóxi	PC - 6% epóxi	PC - 8% epóxi	PC - 2% & 2%	PC - 6% resina	PC - 8% resina	PC - 10% resina	20/40 Jordão	20/40 Econoprop	20/40 Econoflex	20/40 Hickory	20/40 PR 6000	20/40 Carbo-lite
Densidade de massa	1,198		1,292	1,34	1,238	1,293	1,224	1,32	1,6	1,6	1,5	1,6	1,54	1,6
Solubilidade em Ácido	5,7%								1,20%	1,90%	0,30%	0,50%	0,30%	1,70%
Porosidade			50,2%	46,9%		51,8%	54,1%							
Esmagamento														
2000	3,65								-1			0,4	0,1	
3000									-3			1,8	0,2	
4000	7,52	4,54							1,6		0,1	9,8	0,4	
5000									2,6			13,6	0,7	
6000	16,88	16,36									0,1		1,9	
7000	21,00													
7500										4,7				3,1
8000		20,87									0,2			4,5
10000										13,3	0,5		10,7	12,1

Tabela 2 (Continuação)

Planilha de Trabalho de Cerâmica Porosa														
Permeabilidade	PC pura	PC - 4% epóxi	PC - 6% epóxi	PC - 8% epóxi	PC - 2% & 2%	PC - 6% resina	PC - 8% resina	PC - 10% resina	20/40 Jordana	20/40 Econoprop	20/40 Econoflex	20/40 Hickory	20/40 PR 6000	20/40 Carbolite
2000	149	425	322	409	406	559	1193	508	228	342	287	224	275	500
3000	110	331	226	304	318	376	994	384	170	317	274	144	241	466
4000	70	237	130	190	230	192	786	260	113	295	262	64	208	433
5000		97	110	131	185	151	671	181	80	257	255	42	168	376
6000			64	89	142	110	546	101	47	220	248	21	127	317
7000			48	55		78	361		32	178	225	12	94	252
8000			28	44		46	175		18	135	202	4	61	186
Condutividade	PC pura	PC - 4% epóxi	PC - 6% epóxi	PC - 8% epóxi	PC - 2% & 2%	PC - 6% resina	PC - 8% resina	PC - 10% resina	20/40 Jordana	20/40 Econoprop	20/40 Econoflex	20/40 Hickory	20/40 PR 6000	20/40 Carbolite
2000	2726	8436	4693	5965	5484	4658	13522	5760	2116	3423	2586	2020	2550	4755
3000	1915	5152	3194	4283	4053	3177	10275	4116	1564	3132	2382	1276	2201	4383
4000	1103	1868	1695	2600	2621	1695	7028	2472	1013	2842	2178	532	1852	4011
5000		949	1356	1616	1983	1221	5406	1729	709	2442	2036	344	1468	3445
6000			747	1042	1345	747	3783	986	405	2042	1895	157	1085	2779
7000			526	604		522	2455		279	1621	1650	94	790	2255
8000			296	463		296	1127		154	1201	1405	31	495	1637

[00128] Os dados são apresentados graficamente nas figuras 2-6.

[00129] A condutividade é uma função dos tempos de amplitude da permeabilidade. Vantajosamente, como descrito aqui em uma modalidade, um particulado de material poroso selecionado pode ser tratado com um material selecionado de revestimento e/ou de penetração para produzir uma amostra de particulado de peso relativamente baixo que ao mesmo tempo que a carga em lb/pé quadrado como uma areia convencional ocupará uma amplitude maior. Mesmo se a permeabilidade da compactação for a mesma, a condutividade e assim a capacidade de produção da compactação de propante, serão maiores. Assim, como representada pelos dados de condutividade, a vantagem da combinação da maior amplitude e da maior permeabilidade pode ser conseguida. Ainda, como descrito aqui em uma modalidade, um particulado de material poroso selecionado pode ser tratado com o material selecionado de revestimento e/ou de penetração de forma que a resistência da partícula seja mantida a um estresse de confinamento (ou fechamento) maior possível, que é refletido mais diretamente através dos dados de permeabilidade. Assim uma certa quantidade de condutividade da fratura em uma certa condição de estresse/temperatura pode ser mantida sem aumentar o custo e/ou ressaltar qualquer aumento de custo com maior valor. Mesmo no evento de maior custo de material particulado, substancialmente menos material particulado pode ser empregado para atingir uma condutividade substancialmente equivalente causada pelo menor volume de massa/unidade.

Exemplo 3:

[00130] Utilizando o material tratado selecionado dos Exemplos anteriores, as partículas podem ser produzidas de forma que sejam capazes para uso, tal como possuindo resistência suficiente à moagem para uso ou não são esmagadas, sob condições de estresse

de fechamento de 13,8 MPa ou superior, alternativamente um estresse de fechamento de 17,2 MPa ou superior, alternativamente um estresse de fechamento de 20,7 MPa ou superior, alternativamente um estresse de fechamento de até pelo menos aproximadamente 41,4 MPa, alternativamente um estresse de fechamento de até pelo menos aproximadamente 48,3 MPa e alternativamente um estresse de fechamento de pelo menos aproximadamente 55,2 MPa, isto é, quase tão resistente à moagem quanto os propantes de cerâmica comerciais que são mais pesados (por exemplo, o propante de cerâmica comercial (CarboLite) é aproximadamente 40% mais pesado). Em uma outra modalidade, podem ser produzidas partículas que sejam capazes para uso (por exemplo, possuem resistência suficiente à moagem para uso ou não sofrem moagem) sob condições partindo de um estresse de fechamento de aproximadamente 13,8 MPa até um estresse de fechamento de aproximadamente 55,2 MPa, alternativamente um estresse de fechamento partindo de aproximadamente 17,2 MPa até um estresse de fechamento de aproximadamente 55,2 MPa, alternativamente um estresse de fechamento partindo de aproximadamente 20,7 MPa até um estresse de fechamento de aproximadamente 55,2 MPa. Entretanto, será entendido que podem ser produzidas partículas que são capazes de uso em estresses de fechamento mais altos que 55,2 MPa e também em estresses de fechamento menores que aproximadamente 13,8 MPa.

[00131] As figuras 8-15 são fotografias da secção transversal e da superfície SEM de várias amostras tratadas e não tratadas de materiais de cerâmica porosa da CARBO CERAMICS. Quando indicado como “epóxi” ou como “resina”, o material particular de revestimento/penetração é o mesmo epóxi ou a resina de fenol formaldeído empregada e identificada no Exemplo 1.

[00132] A figura 8 mostra partículas tratadas com aproximadamente 10% em peso de resina de partícula. A FIG. 9 mostra partículas tratadas em primeiro lugar com 2% em peso de epóxi e em segundo lugar com 2% em peso de resina. A FIG. 10 mostra partículas não tratadas. A FIG. 11 mostra partículas tratadas em primeiro lugar com 2% em peso de epóxi e em segundo lugar com 2% em peso de resina. A FIG. 12 mostra a superfície da partícula não tratada. A FIG. 13 mostra partículas não tratadas. A FIG. 14 mostra partículas tratadas com 8% em peso de epóxi. A FIG. 15 mostra partículas tratadas com 6% em peso de epóxi.

Exemplo 4:

[00133] Neste exemplo, uma mescla selecionada de três particulados para tratamento de poços com gravidades específicas aparentes diferentes foi avaliada para uso em um tratamento de fratura com água de um poço de gás “firme” baseado no poço de gás Canyon Sand. Os três particulados de gravidade específica aparente diferentes foram escolhidos para representar, por exemplo, uma mescla selecionada dos tipos diferentes a seguir de particulados para tratamento de poços:

[00134] Areia de Ottawa de trama 20/40 que possui as propriedades a seguir: gravidade específica aparente de 2,65; Velocidade terminal (taxa de queda), $V_t = 5,4$ m/min a um Número de Reynold (N_{re}) = +/- 500 (Típico para fraturas com água)

[00135] Partículas de cerâmica porosa de trama 20/40 revestidas com 2% de resina (descritas em outro lugar aqui) que possuem as propriedades a seguir: gravidade específica aparente de 1,70; $V_t = 2,9$ m/min a um $N_{re} = +/- 500$ (Típico para fraturas com água)

[00136] Cascas de nozes moídas ou esmagadas de trama 20/40 revestidas com revestimento protetor ou de endurecimento (por exemplo, “LiteProp” da BJ Services descrito na Patente U.S. Nº

6.364.018 e no Pedido de Patente U.S. Nº de Série 09/579.146, cada um incorporado aqui como referência) que possuem as propriedades a seguir: gravidade específica aparente de 1,20; $V_t = 1,2$ m/min a um $N_{re} = +/- 500$ (Típico para fraturas com água)

[00137] Como pode ser observado partindo dos dados anteriores, o particulado III pesa aproximadamente a metade do Particulado I, mas assenta em uma taxa menor que aproximadamente 1/4 mais rápida.

[00138] Um particulado para tratamento de poços incluindo uma mescla selecionada de quantidades aproximadamente equivalentes dos tipos anteriores de particulados (isto é, aproximadamente 1/3 em peso do particulado I anterior do peso total da mescla, 1/3 em peso do particulado II anterior do peso total da mescla e aproximadamente 1/3 em peso do particulado III anterior do peso total da mescla) foi modelado para uso em um tratamento de fratura com água de um poço de gás “firme” utilizando um programa de simulação de fratura hidráulica. A FIG. 16 ilustra a distribuição de propante na fratura hidráulica simulada resultante criada buraco abaixo.

[00139] Com a finalidade de comparação, um particulado para tratamento de poços incluindo somente o particulado I (Areia de Ottawa) foi modelado para uso em um tratamento de fratura com água do mesmo poço de gás “firme” similarmente modelado utilizando a mesma programação de bombeamento (mas neste caso utilizando 61.235 kg de Areia de Ottawa). A FIG. 17 ilustra a distribuição de propante na fratura hidráulica simulada resultante criada buraco abaixo.

[00140] Como pode ser observado partindo de uma comparação dos perfis submetidos ao propante resultantes das figuras 16 e 17, o particulado para o tratamento de poços incluindo apenas o particulado I (Areia de Ottawa) resultou em uma distribuição de propante que foi submetido ao propante a metade inferior solta até aproximadamente

300 m (1000') (ver a figura 18), enquanto que o particulado para tratamento de poços incluindo uma mescla selecionada de quantidades aproximadamente equivalentes dos particulados I, II e III resultou em uma distribuição sinérgica de propante que foi submetido ao propante todo solta até quase 600 m (2000') (ver a figura 16) ou aproximadamente quatro vezes a área de superfície de fratura que foi submetida ao propante.

Exemplo 5:

[00141] As distribuições de propante da figura 16 e da figura 17 eram depois inseridas em um estimulador de produção de reservatório ("M-Prod") e a produção de gás foi separadamente estimulada para cada distribuição de propante. Foi feita uma suposição de que a condutividade eficiente da distribuição do propante da figura 16 (isto é, quantidades aproximadamente equivalentes dos particulados I, II e III) teria somente 1/10 da condutividade eficiente da distribuição do propante da figura 17 (isto é, somente o particulado I). A distribuição do propante da figura 17 (isto é, somente o particulado I) produzida em um potencial inicial de 707 MCFD com uma produção cumulativa de 595 MMCF ao longo de dez anos, enquanto que a distribuição do propante da figura 16 (isto é, quantidades aproximadamente equivalentes dos particulados I, II e III) produzida em um potencial inicial de 920 mcf/dia ("MCFD") com uma produção cumulativa de 1312 MMCF ao longo de dez anos. Assim, a distribuição de propante da figura 16 (isto é, quantidades aproximadamente equivalentes dos particulados I, II e III) resultou na produção do dobro das reservas do mesmo poço que a distribuição de propante da figura 17 (isto é, somente o particulado I), apesar de possuir somente 1/10 da condutividade assumida. Isto mostra o quanto a mescla selecionada descrita de tipos diferentes de particulados para tratamento de poços pode ser vantajosamente empregada para atingir as maiores taxas e

reservas de produção partindo de formações de gás relativamente firmes aumentando os comprimentos de fraturas que foram submetidas ao propante, mesmo com condutividades eficientes reduzidas.

[00142] Embora este exemplo ilustre o uso de uma mescla selecionada de tipos e quantidades diferentes de particulados para tratamento de poços em um poço de gás firme, será entendido que as mesclas destes e de outros tipos de mesclas para tratamento de poços podem ser selecionadas e empregadas para outros tipos de poços, incluindo poços produtores de líquidos assim como gás e poços que possuem valores de permeabilidade de formação relativamente maiores. Além disso, será entendido que as vantagens do método descrito podem ser realizadas utilizando mesclas de outros sem ser os três tipos diferentes de particulados para tratamento de poços, por exemplo, utilizando dois tipos diferentes de particulados para tratamento de poços ou mais de três tipos diferentes de particulados para tratamentos de poços (por exemplo, tanto quanto quatro, cinco, seis, sete, oito, nove ou mais tipos diferentes de particulados para tratamento de poços) que possuem características variáveis.

Exemplo 6:

[00143] ULW-1,75 corresponde a 2/2 discutido anteriormente no Exemplo 1 e pode ser caracterizado como uma partícula de cerâmica porosa com arredondamento e esfericidade comuns às dos propantes de cerâmica. A porosidade tem média de 50%, fornecendo uma densidade de massa de 1,10 até 1,15 g/cm³. As partículas de tamanho médio de trama 20/40 de ULW-1,75 e Areia de Ottawa foram utilizadas. A Areia de Ottawa de trama 20/40 possui uma densidade de massa média de 1,62 g/cm com uma gravidade específica de 2,65. A ULW-1,75 possui uma densidade de massa de 1,05 até 1,10.

[00144] As avaliações de assentamento estático de partículas foram

conduzidas em água doce para determinar as diferenças na taxa de assentamento entre as partículas de propante convencional e de ULW. As partículas de tamanho mediano de trama 20/40 de cada propante foram utilizadas para as avaliações. Os cálculos para a Lei de Stokes que fornecem a velocidade de queda em m/min (pés/minuto) são apresentados na Tabela 3 e foram calculados como:

$$V = 1,15 \times 10^3 (d_{\text{Prop}}^2 / \mu_{\text{fluido}}) (\text{Sp.Gr.}_{\text{Prop}} - \text{Sp.Gr.}_{\text{fluido}})$$

[00145] em que a velocidade está em m/min (pés/minuto), o diâmetro d é o diâmetro médio da partícula e, μ é a viscosidade do fluido em cps.

TABELA 3 Taxas de Assentamento Estático para Propantes que são Derivadas pela Lei de Stokes		
<u>20/40 de Propante</u>	<u>Sp.Gr.</u>	<u>Velocidade de Assentamento m/min (pés/min)</u>
Areia Ottawa	2,65	16,6
ULW-1,75	1,75	11,2

[00146] Os testes de fluxo de fenda em grande escala foram realizados para caracterizar as taxas de assentamento dinâmicas do propante de peso ultraleve. As características de transporte do propante foram estudadas à temperatura ambiente através de uma fenda de vidro. A fenda transparente possui uma altura de 55,88 cm (22 polegadas), um comprimento de 4,87 m (16 pés) e um dispositivo de placa paralelo com largura de 1,27 cm (0,5 polegada). 3,79 litros (mil galões) de fluido de teste foram preparados e a reologia do fluido foi medida utilizando um medidor de viscosidade padronizado Fann 35. O fluido foi então transferido para um mesclador de fita com capacidade de 0,76 L (200 galões) e bombeado através de uma alça de teste para preencher o modelo de fenda transparente. Uma vez que a fenda foi preenchida com o fluido de teste, o propante foi adicionado no mesclador para preparar uma suspensão da concentração

desejada. O fluido de baixa reologia utilizado no teste exibiu uma viscosidade medida de 5 até 7 cps ao longo de toda a série de testes.

[00147] A taxa de cisalhamento na fenda é fornecida pela equação:

$$\gamma = [\text{sec}^{-1}] = \frac{1,925q[\text{gpm}]}{(w[\text{in.}])^2(H[\text{ft}])}$$

[00148] em que q é a taxa em litros por minuto (galões por minuto), w é a amplitude em cm (polegadas) e H é a altura em metros (pés). A velocidade do fluido através deste modelo de fenda é fornecida por:

$$v[m/\text{sec}] = \frac{0,00815q[\text{gpm}]}{(w[\text{in.}])(H[\text{ft}])}$$

[00149] O comportamento de transporte do propante de cada suspensão de teste foi observado através da fenda em várias vazões. Durante estes testes, a distribuição do propante foi registrada continuamente com câmeras de vídeo assim como manualmente através de observação. Todas as medidas de altura de leito para este trabalho foram tiradas próximas ao final da descarga da célula de fluxo da fenda.

[00150] Foi observado que a Areia de Ottawa suspensa em fluido de baixa reologia começava a assentar após a entrada na fenda mesmo na velocidade máxima da bomba de fluido. No período de 12 minutos a 90 gpm (taxa de cisalhamento de 378 s^{-1}), a altura do leito era de 38,1 cm (15 polegadas), 68% da altura total da fenda de 55,88 (22 polegadas). A Tabela 4 abaixo mostra os resultados na forma tabular. Somente as taxas de cisalhamento em excesso de 1000 s^{-1} mantinham a taxa dinâmica de queda do propante da Areia de Ottawa é aliviada no fluido de baixa reologia de teste. Uma vez que as vazões eram diminuídas para 30 gpm, o leito de propante de Ottawa atingiu sua altura máxima de leito de 49,53 cm (19,5 polegadas) ou 91,25% da altura da fenda. Acima do leito do propante, a taxa de cisalhamento

atingiu 1.414 s^{-1} , em cujo ponto o assentamento adicional não ocorreu. Uma vez que a taxa aumentou de 30 até 40 gpm (1.919 s^{-1}), a altura do leito foi realmente reduzida.

TABELA 4				
Tempo, minuto	Taxa de Fluido Gpm	Altura do Leito de Prop (m)	Cisalhamento da Fenda s^{-1}	Acima do leito s^{-1}
0	90	0	378	378
1	90	7,62	383	443
12	90	38,1	381	1201
14	60	38,7	252	825
18	60	42,1	252	825
19	40	42,4	168	677
28	40	46,9	170	1076
30	30	48,2	116	858
42	30	50,9	171	1414
43	40	50,9	171	1919
45	40	46,3	169	1070

[00151] O teste com ULW-1.75 foi iniciado em 90 gpm. A ULW-1,75 foi observada como estando sujeita a algum assentamento a 90 gpm, com a altura do leito aumentando até 10 cm. A taxa de fluido foi diminuída para 80 gpm e a altura do leito aumentou para 15,2 cm. Uma vez que as taxas foram reduzidas de forma incremental para menos de 30 gpm, foi observado que o leito da ULW-1.75 aumentou com taxa reduzida até 30,5 cm. A taxa foi adicionalmente diminuída para 5 gpm e a altura do leito aumentou até 48,3 cm ou 86% da altura total da fenda. Como observado em vários testes, à medida que a taxa é aumentada de forma incremental, a altura do leito diminui por causa da erosão e da fluidização do leito. Os resultados para ULW-1.75 são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5				
Tempo, minuto	Taxa de Fluido Gpm	Altura do Leito de Prop (m)	Cisalhamento da Fenda s⁻¹	Acima do leito s⁻¹
0	90	0,0	378	378
7	90	10,1	378	463
8	80	11,6	337	423
11	80	16,5	337	478
12	70	17,7	295	432
15	60	21,6	295	412
17	60	24,1	252	445
18	50	25,3	210	386
20	50,4	28,0	212	425
22	39	29,3	164	345
23	30	30,5	126	278
28	31	39,3	130	443
29	20	40,5	81	299
33	8	43,9	34	159
34	5,1	44,5	21	106
35	20	46,9	84	534
37	20,5	48,2	86	640
38	40,4	46,3	170	1006
40	50,6	44,5	213	1048
45	60,2	40,5	253	933

[00152] Ambos os materiais testados assentam progressivamente mais à medida que a velocidade diminui. Por causa da menor densidade, a ULW é mais facilmente colocada no fluxo à medida que a taxa aumenta. Os materiais de densidade reduzida requerem maior cisalhamento para fluidizar o leito de propante. Foi observado que a Areia de Ottawa requer um excesso de 1.500 s⁻¹ para transportar o propante em fluido de baixa reologia e quase 2.000 s⁻¹ de cisalhamento para começar a fluidizar o leito de propante. O transporte de ULW-1.75 a taxas de cisalhamento de 500 s⁻¹ e as taxas de cisalhamento do fluido de 800 s⁻¹ eram necessárias para fluidizar o

leito de propante.

[00153] Os dados mostram claramente a vantagem de partículas de menor densidade em relação às taxas dinâmicas de queda de areia. Os propantes mais pesados requerem uma viscosidade de fluido significativa, uma densidade de fluido elevada e/ou uma alta velocidade de suspensão para o transporte eficiente de propante.

[00154] Embora a invenção possa ser adaptada a várias modificações e formas alternativas, as modalidades específicas foram mostradas com a finalidade de exemplo e descritas aqui. Entretanto, deve ser entendido que não é pretendido que a invenção seja limitada às formas particulares descritas. Ao invés disso, a invenção serve para cobrir todas as modificações, equivalentes e alternativas que se encaixam dentro do espírito e do âmbito da invenção.

[00155] Partindo do que foi citado anteriormente, será observado que numerosas variações e modificações podem ser efetuadas sem sair do espírito verdadeiro e do âmbito dos novos conceitos da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Particulado poroso configurado seletivamente, caracterizado pelo fato de que compreende um particulado poroso tratado com um material não poroso penetrante, de revestimento e/ou vitrificante, em que qualquer uma das seguintes condições se aplica:

(a) a porosidade do particulado poroso configurado seletivamente é menor que a porosidade do particulado poroso; ou

(b) a porosidade e a permeabilidade do particulado poroso é tal que um fluido pode ser arrastado pelo menos parcialmente para sua matriz porosa por ação capilar,

e, ainda, em que o particulado poroso exibe uma permeabilidade inerente ou induzida,

e em que o material particulado poroso configurado seletivamente é um material particulado poroso revestido ou penetrado com uma resina líquida, um plástico, um cimento, um selante, ou um aglutinante, incluindo um fenol, um fenol formaldeído, uma melamina formaldeído, uma uretana, uma resina epóxi, polietileno, resina à base de carbamato de etila, ou poliestireno ou uma combinação dos mesmos.

2. Particulado poroso configurado seletivamente, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material particulado poroso tem uma porosidade e permeabilidade de tal modo que um material penetrante pode ser arrastado pelo menos parcialmente para a matriz porosa utilizando-se um vácuo e/ou pode ser forçado pelo menos parcialmente para a matriz porosa sob pressão.

3. Particulado poroso configurado seletivamente, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a camada de revestimento ou o material penetrante do material particulado poroso configurado seletivamente é um líquido que possui uma gravidade específica aparente menor que a gravidade específica aparente da matriz do material particulado poroso.

4. Particulado poroso configurado seletivamente, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a camada de revestimento ou o material penetrante do material particulado poroso configurado seletivamente é uma resina curável e também em que o material particulado poroso configurado seletivamente compreende um grande número de particulados revestidos colados entre si.

5. Particulado poroso configurado seletivamente, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma das seguintes condições prevalece:

(a) o material particulado poroso possui uma proporção de aspecto baseado no comprimento máximo equivalente ou menor que 5;

(b) o material particulado poroso configurado seletivamente possui uma densidade aparente de $1,1 \text{ g/cm}^3$ até $2,6 \text{ g/cm}^3$ e uma densidade de massa aparente de $1,03 \text{ g/cm}^3$ até $1,4 \text{ g/cm}^3$ por cento;

(c) o tamanho do material particulado poroso configurado seletivamente fica entre 200 mesh e 8 mesh;

(d) a camada de revestimento ou o material penetrante está presente no material particulado poroso configurado seletivamente em uma quantidade de 0,5 até 10 % em peso de peso total; ou

(e) a espessura da camada de revestimento do material particulado poroso configurado seletivamente é de 1 até 5 microns.

6. Particulado poroso configurado seletivamente, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o particulado poroso é uma cerâmica natural ou não natural, poliolefina, um copolímero de estireno-divinilbenzeno ou um éster de polialquilacrilato.

7. Processo para tratamento de um poço que penetra em uma formação subterrânea, caracterizado pelo fato de que compreende a introdução no poço de um particulado de controle de propante/areia de um material particulado poroso configurado

seletivamente, o material particulado poroso configurado seletivamente sendo um material particulado poroso que exibe uma permeabilidade inerente ou induzida e produzido com um material de vitrificação ou tratado com uma camada penetrante, uma camada de revestimento ou um material vitrificante de forma que pelo menos uma das seguintes condições se aplica:

(a) o particulado poroso configurado seletivamente é o particulado, como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6; ou

(b) a resistência do material particulado poroso configurado seletivamente é maior que a resistência do material particulado poroso.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o material particulado poroso exibe resistência à moagem sob condições de esforço de fechamento tão altas quanto 69 MPa, preferivelmente de 1,73 MPa até 55,2 MPa.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, caracterizado pelo fato de que o material particulado poroso tem uma porosidade e uma permeabilidade tais que um material penetrante pode ser arrastado pelo menos parcialmente para a matriz porosa usando-se um vácuo e/ou pode ser forçado pelo menos parcialmente para a matriz porosa sob pressão.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, caracterizado pelo fato de que o material particulado poroso configurado seletivamente é um material particulado poroso revestido ou penetrado com uma resina líquida, um plástico, um cimento, um selante, ou um aglutinante, tal como, um fenol, um fenol formaldeído, uma melamina formaldeído, uma uretana, uma resina epóxi, polietileno, resina à base de carbamato de etila, ou poliestireno ou uma combinação dos mesmos.

11. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 10, caracterizado pelo fato de que o material

penetrante e/ou a camada de revestimento do material particulado poroso configurado seletivamente é capaz de aprisionar ou encapsular um fluido que possui uma gravidade específica aparente menor que a gravidade específica aparente da matriz.

12. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 11, caracterizado pelo fato de que o particulado poroso configurado seletivamente é carregado para o poço em um fluido carreador, tal como, uma salmoura de processamento, água salgada, água doce, um hidrocarboneto líquido ou um gás, tal como, nitrogênio ou dióxido de carbono, ou mistura dos mesmos.

13. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 12, caracterizado pelo fato de que a camada de revestimento ou o material penetrante do material particulado poroso configurado seletivamente é um líquido que possui uma gravidade específica aparente menor que a gravidade específica aparente da matriz do material particulado poroso.

14. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 13, caracterizado pelo fato de que a camada de revestimento ou o material penetrante do material particulado poroso configurado seletivamente é uma resina curável e também em que o material particulado poroso configurado seletivamente compreende um grande número de particulados revestidos colados entre si.

15. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 14, caracterizado pelo fato de que o poço é horizontal ou é um poço desviado que tem um ângulo em relação à vertical de entre 0 grau e 90 graus.

16. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 14, caracterizado pelo fato de que pelo menos uma das seguintes condições se aplica:

(a) o material particulado poroso possui uma proporção de aspecto baseado no comprimento máximo equivalente ou menor que 5;

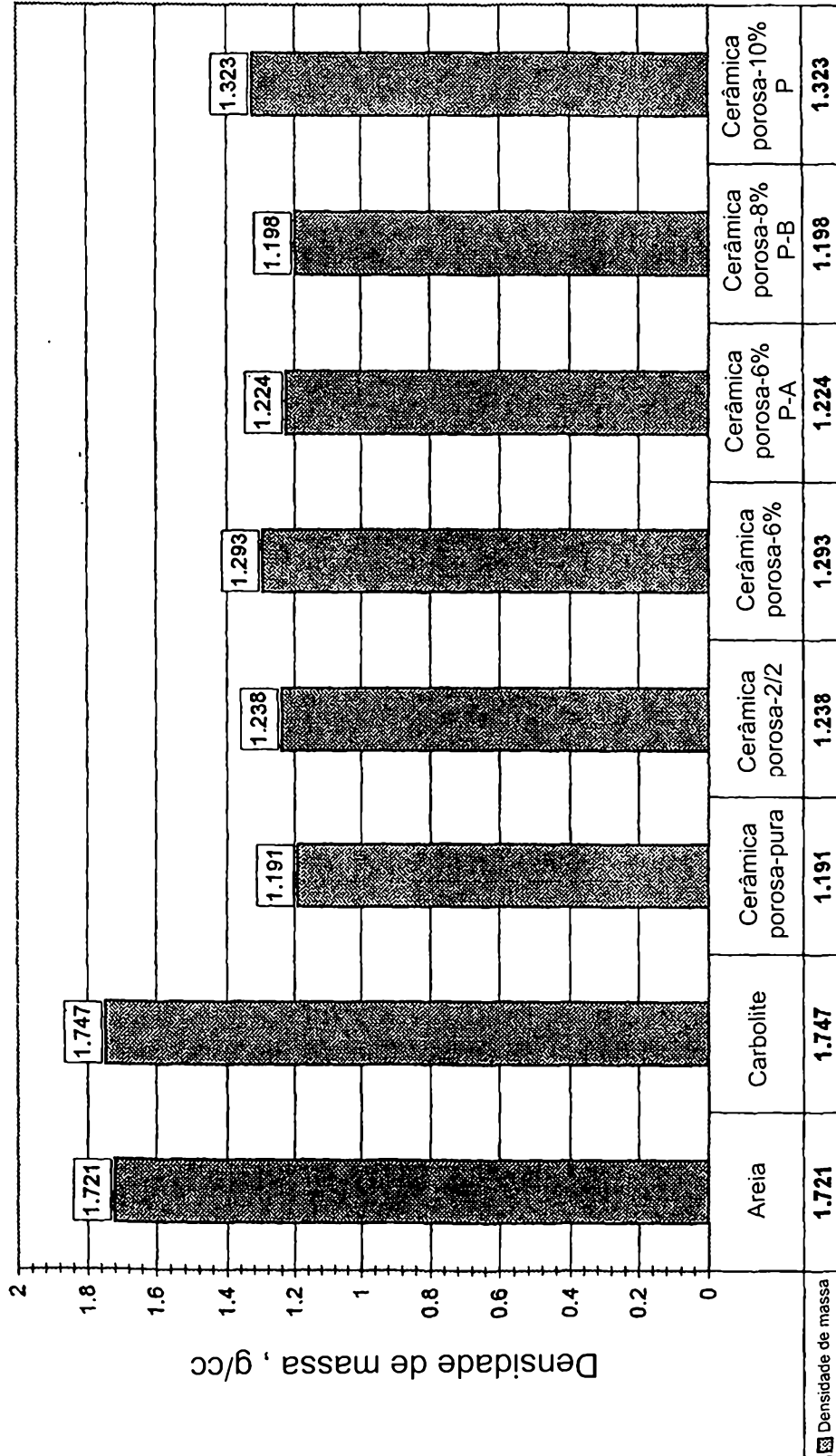
(b) o material particulado poroso configurado seletivamente possui uma densidade aparente de $1,1 \text{ g/cm}^3$ até $2,6 \text{ g/cm}^3$ e uma densidade de massa aparente de $1,03 \text{ g/cm}^3$ até $1,4 \text{ g/cm}^3$ por cento;

(c) o tamanho do material particulado poroso configurado seletivamente fica entre 200 mesh e 8 mesh;

(d) a camada de revestimento ou o material penetrante está presente no material particulado poroso configurado seletivamente em uma quantidade de 0,5 até 10 % em peso de peso total, opcionalmente, a espessura da camada de revestimento do material particulado poroso configurado seletivamente é de 1 até 5 microns.

17. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 16, caracterizado pelo fato de que o material particulado poroso configurado seletivamente é uma suspensão do material particulado poroso e uma matriz porosa e ainda em que a suspensão, quando introduzida no poço, forma um compacto de pedregulho permeável ao fluido na área anular definida entre o exterior de uma montagem de tela e o interior do buraco do poço.

Densidade de massa



Tipo de Proppant

FIG 1

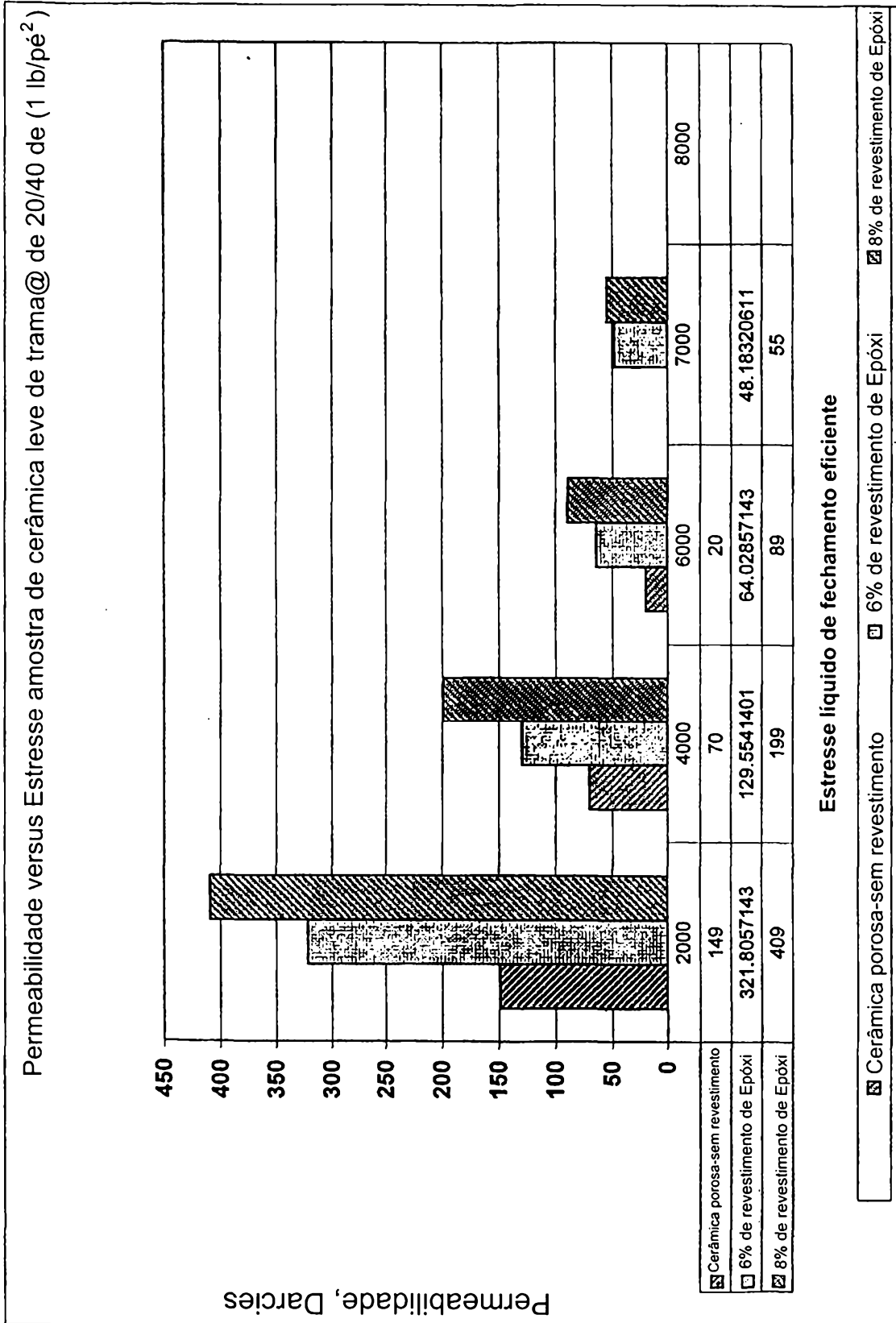


FIG 2

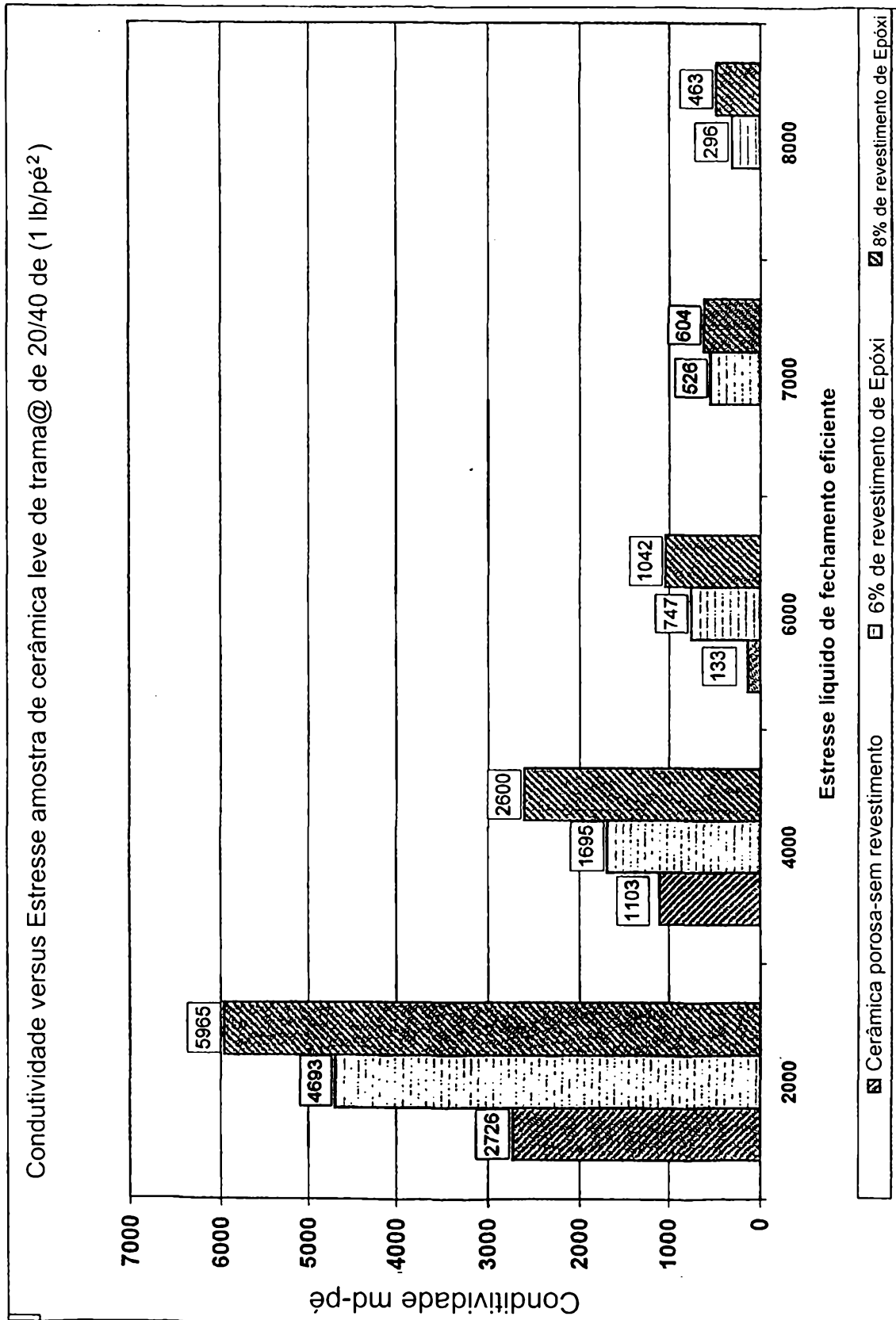


FIG 3

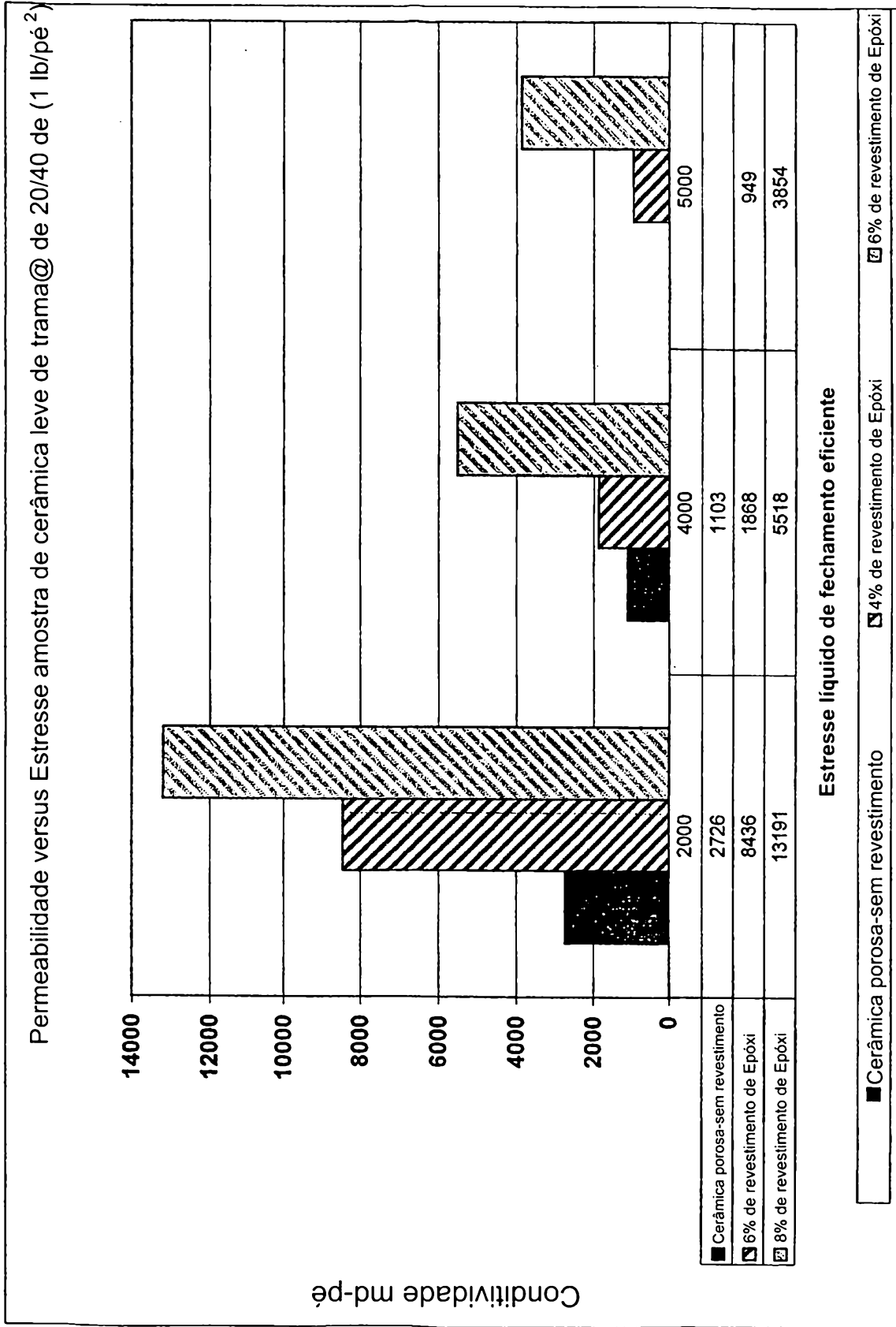


FIG 4

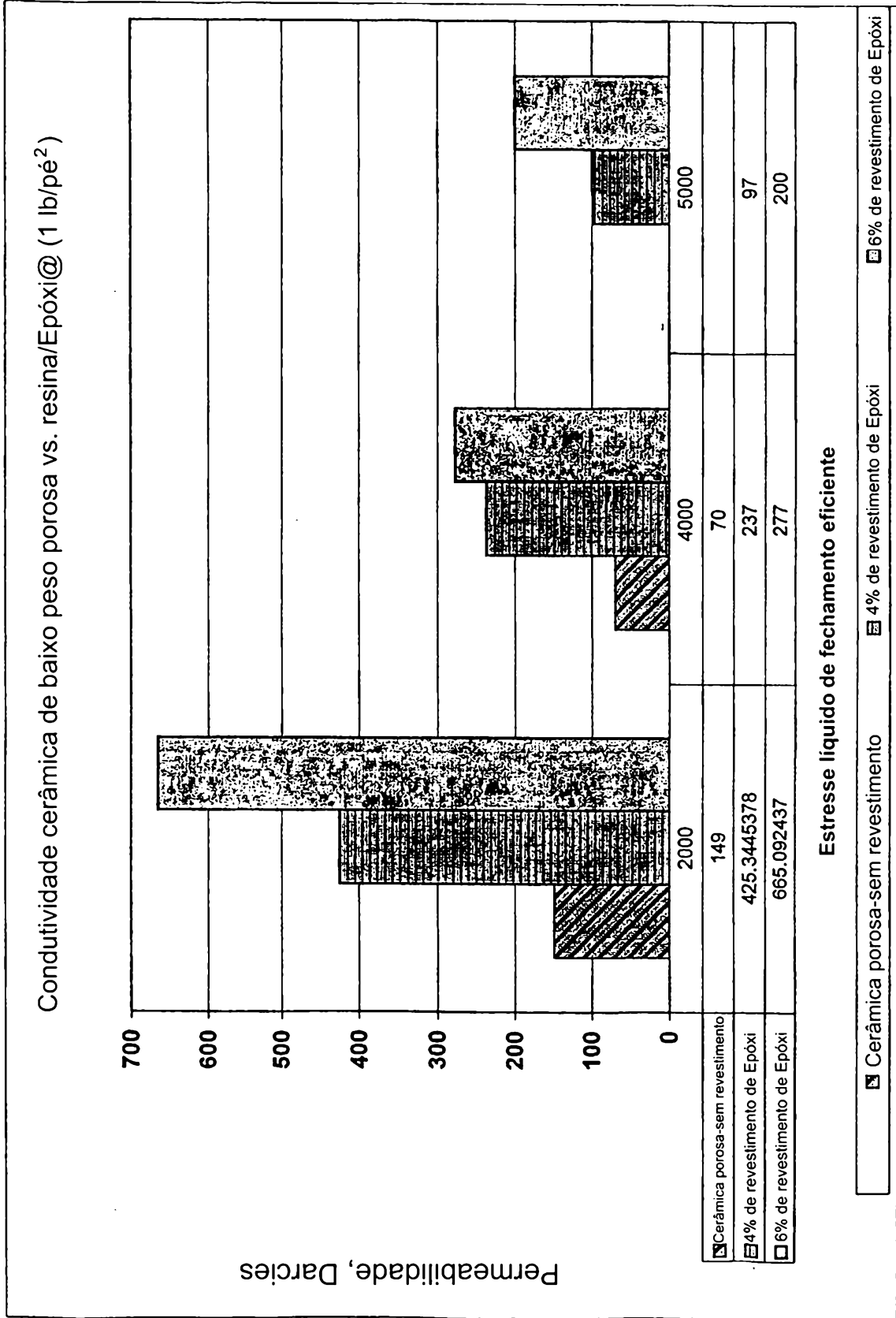


FIG 5

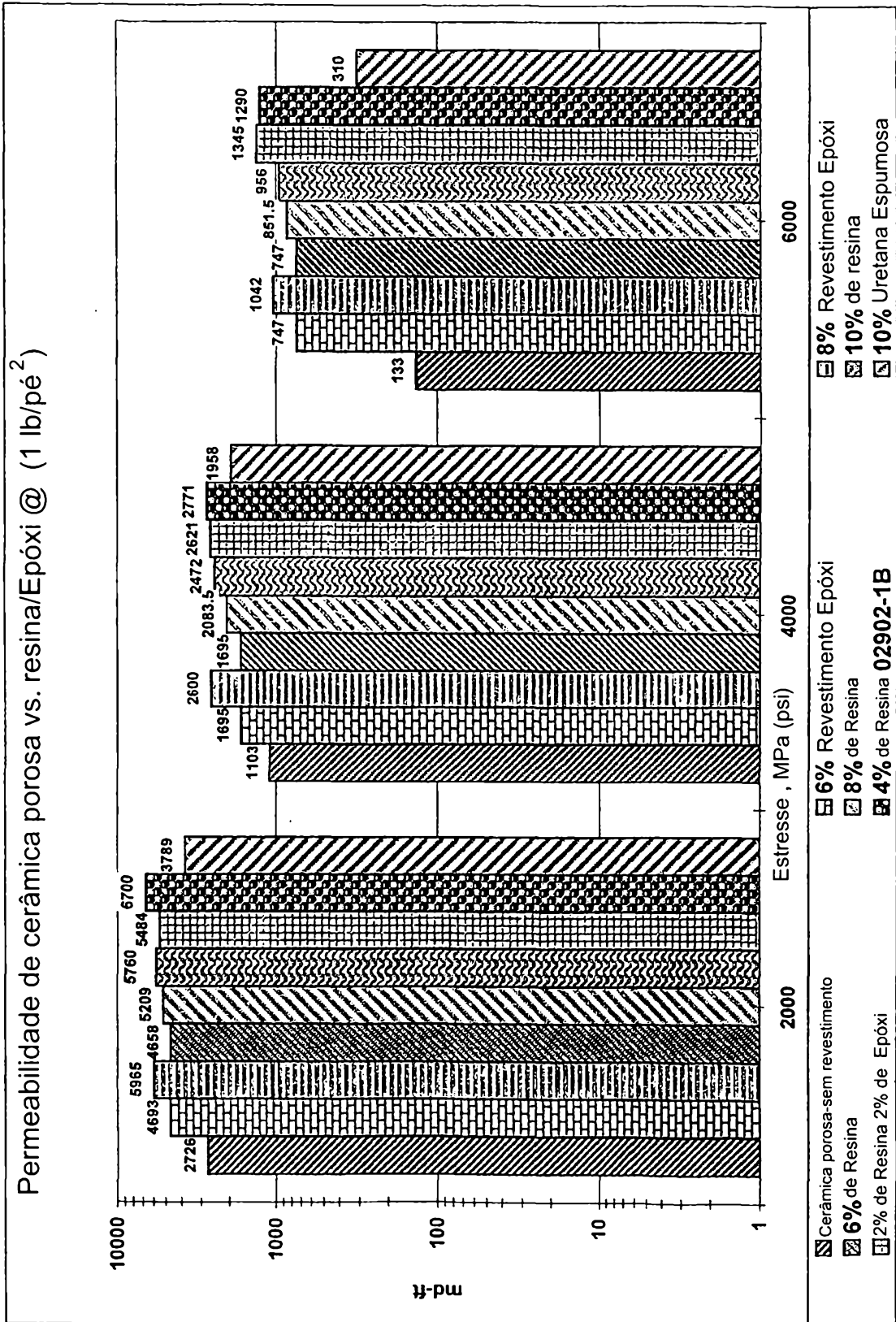
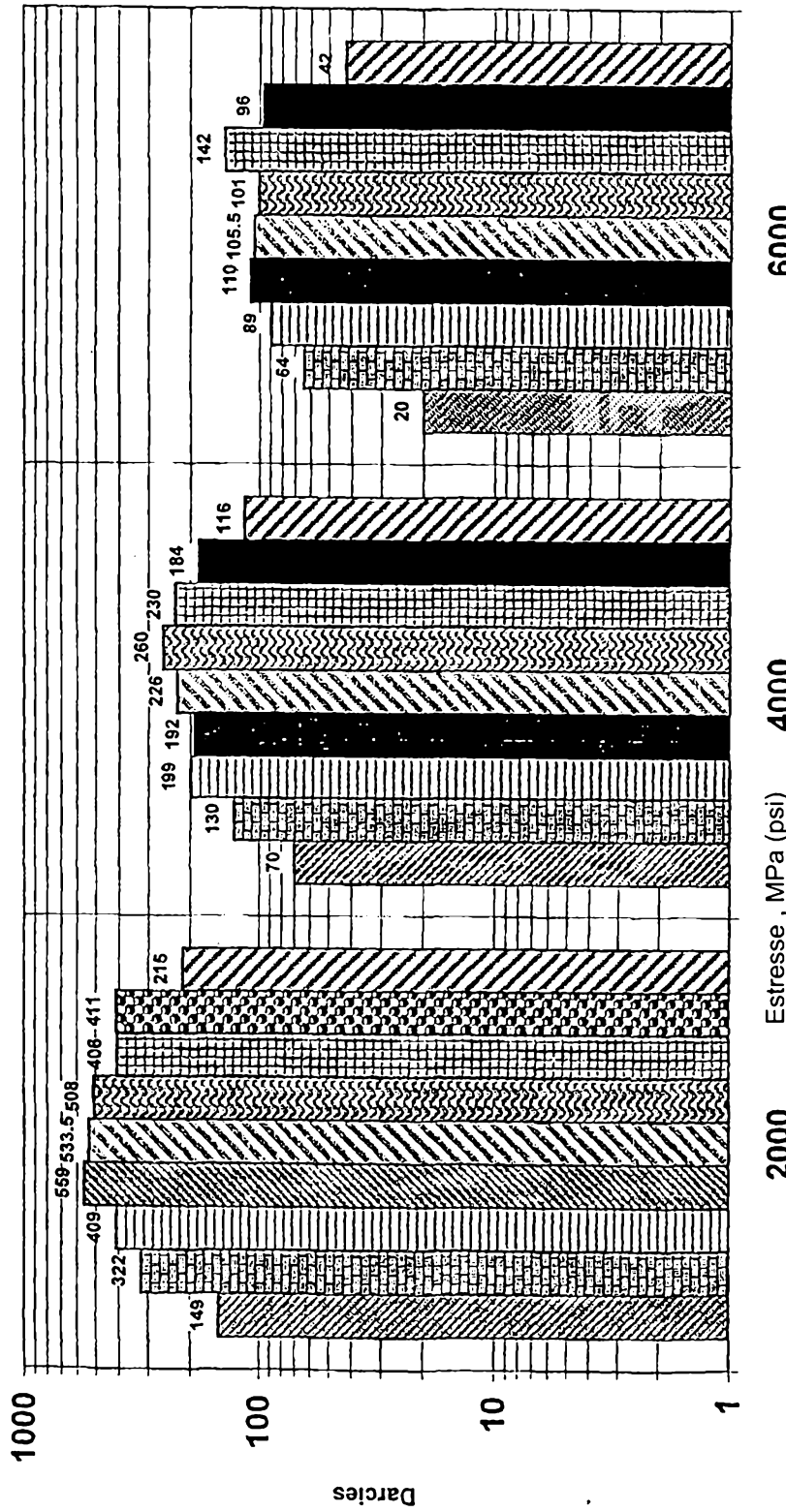


FIG 6

Permeabilidade de cerâmica porosa vs. resina/Epóxi @ (1 lb/pé²)



- ☐ Cerâmica porosa-sem revestimento
- 6% de Resina
- ☐ 2% de Resina 2% de Epóxi
- ☐ 6% Revestimento Epóxi
- ☐ 8% de Resina
- 4% de Resina 102902-1B
- ☐ 8% Revestimento Epóxi
- ☐ 10% de resina
- ☐ 10% Uretana Espumosa

FIG 7

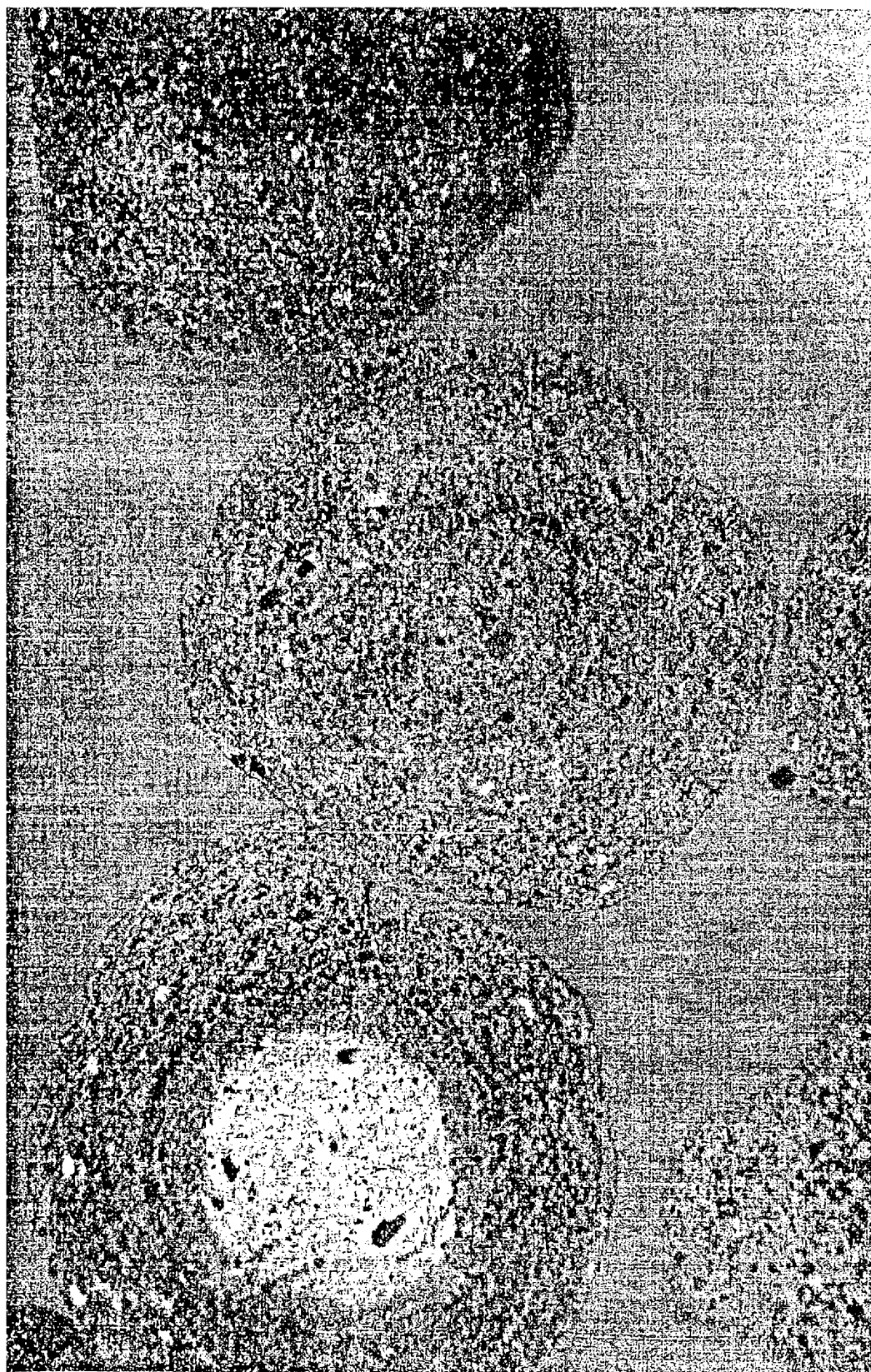


FIG 8

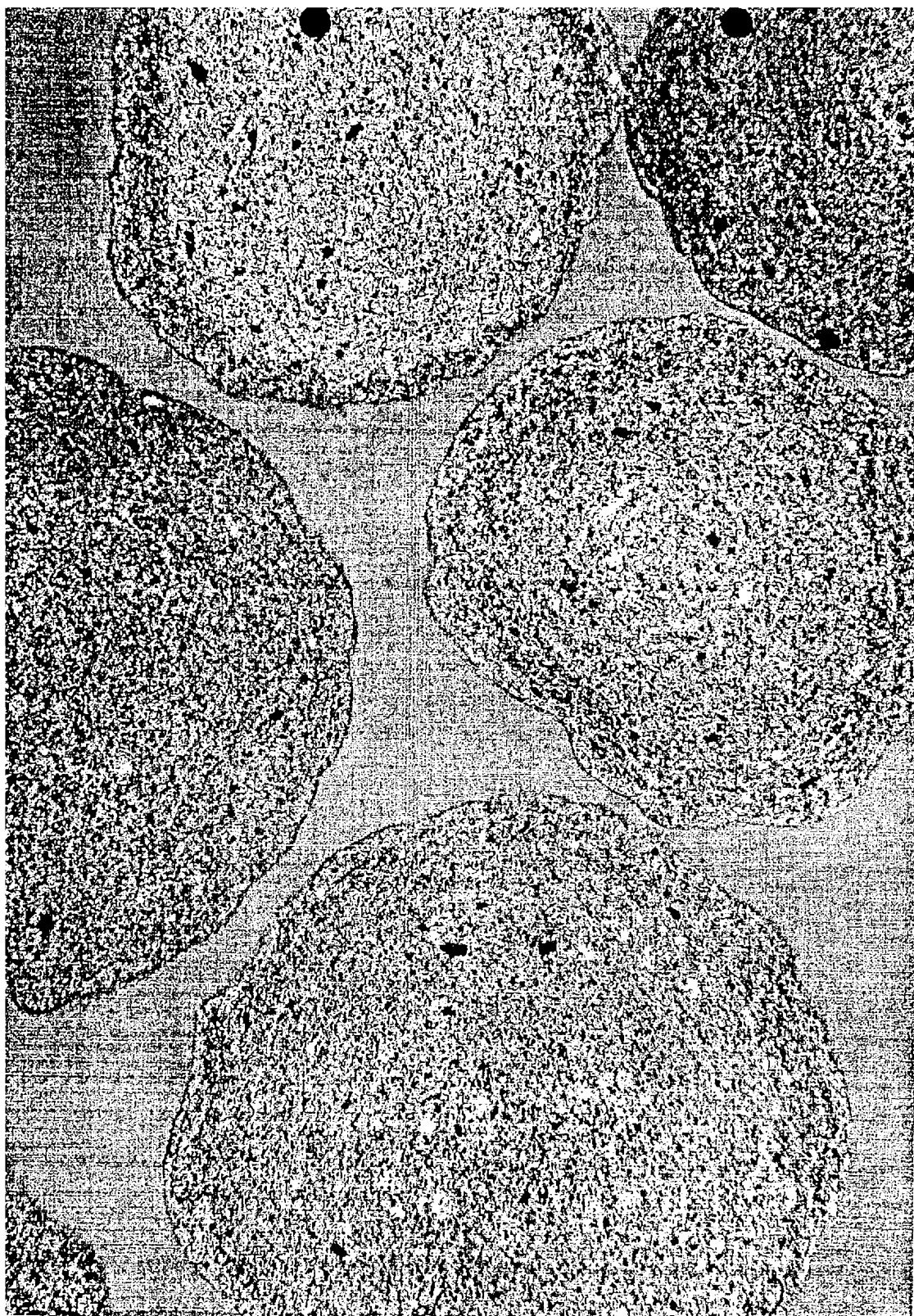


FIG 9

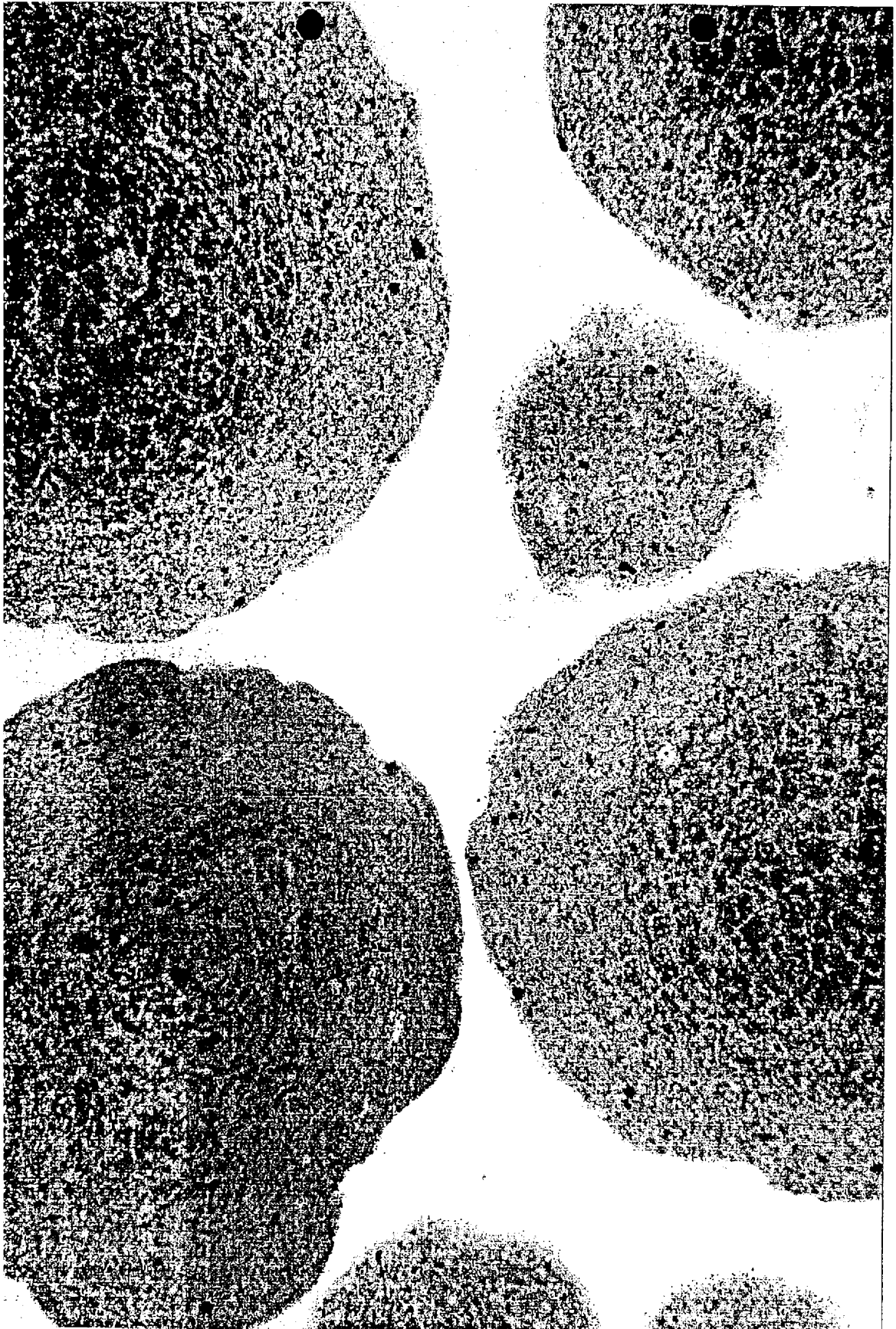


FIG 10



FIG 11

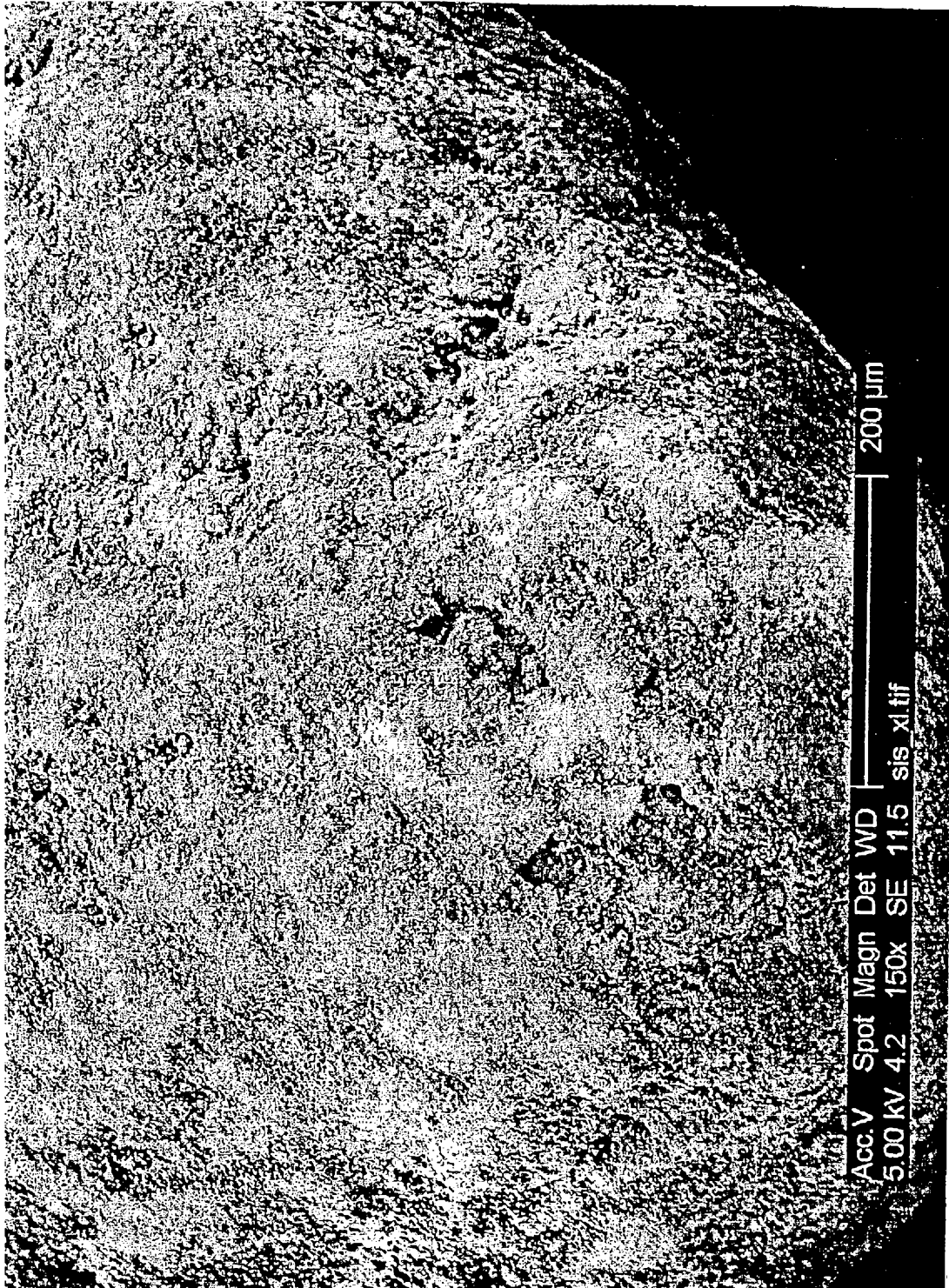


FIG 12



FIG 13



FIG 14

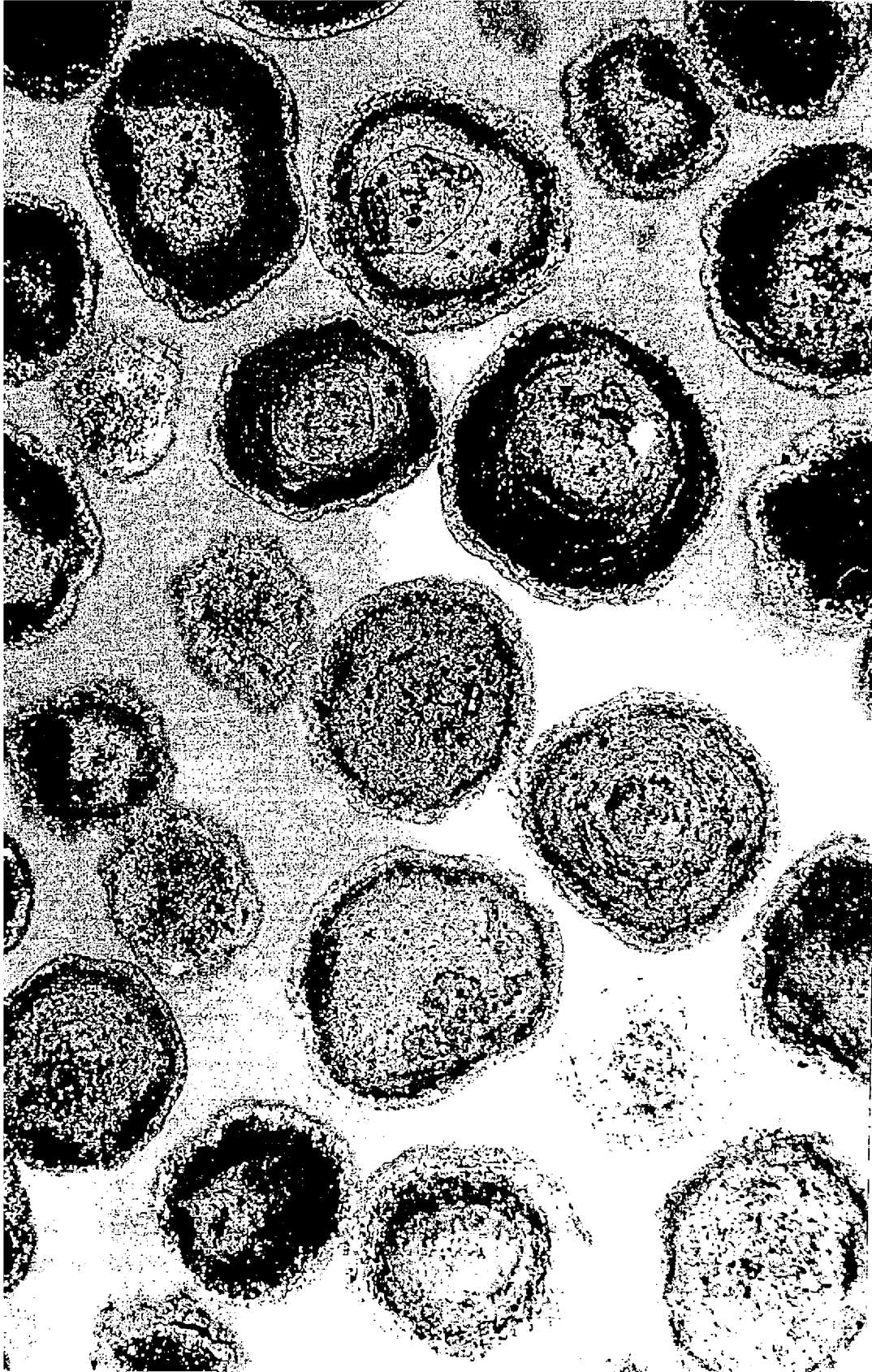


FIG 15

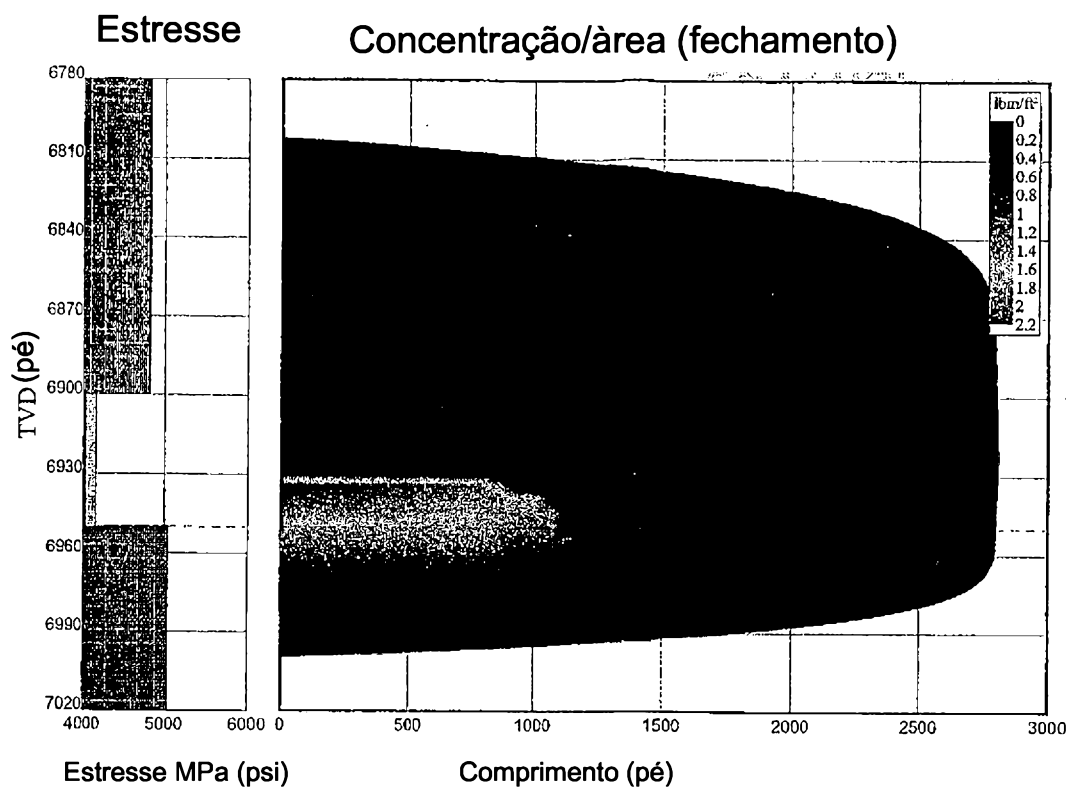


FIG 16

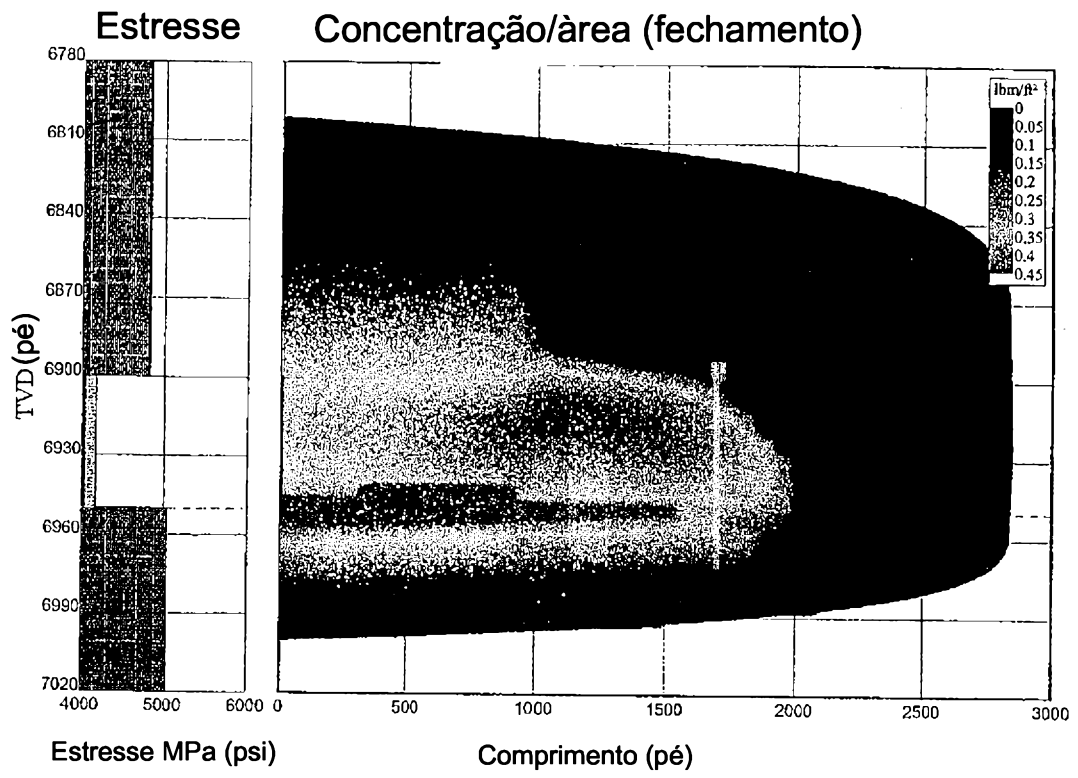


FIG 17

RESUMO

Patente de Invenção: "PARTICULADO POROSO CONFIGURADO SELETIVAMENTE E PROCESSO PARA TRATAMENTO DE POÇO QUE PENETRA EM UMA FORMAÇÃO SUBTERRÂNEA".

Processos e composições úteis para tratamentos de formação subterrânea, tais como tratamentos de fratura hidráulica e controle de areia que incluem materiais porosos. Tais materiais porosos também podem ser partículas de material poroso particulado configurado seletivamente e/ou tratados com materiais de vitrificação selecionados, materiais de revestimento e/ou materiais penetrantes para ter resistência e/ou densidade aparente desejadas para se adaptar às condições buraco abaixo, em particular para tratamento do poço, tais como tratamentos de fratura hidráulica e tratamentos de controle de areia. Os materiais porosos também podem ser empregados em combinações selecionadas para otimizar o desempenho da fratura ou do controle de areia e/ou podem ser empregados como materiais de peso relativamente leve em sistemas de tratamento de poço à base de dióxido de carbono líquido.