República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112017024888-3 B1

(22) Data do Depósito: 17/05/2016

(45) Data de Concessão: 04/04/2023

(54) Título: MATERIAL COMPÓSITO DE PESO LEVE PRODUZIDO A PARTIR DE SILICATO DE CÁLCIO CARBONATÁVEL E PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM MATERIAL COMPÓSITO

(51) Int.Cl.: C04B 38/10; C04B 7/00; C04B 12/00; C04B 35/22.

(30) Prioridade Unionista: 18/05/2015 US 14/715,497.

(73) Titular(es): ASAHI KASEI CONSTRUCTION MATERIALS CORPORATION; SOLIDIA TECHNOLOGIES, INC..

(72) Inventor(es): VAHIT ATAKAN; SADANDA SAHU; HIROTAKA TAKASE; TAKAYUKI KAMATA; KATSUNHIKO KANNO; YOSHIHITO FUKASAWA; OMKAR DEO; DAVID VUONG.

(86) Pedido PCT: PCT US2016032825 de 17/05/2016

(87) Publicação PCT: WO 2016/187178 de 24/11/2016

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/11/2017

(57) Resumo: MATERIAIS COMPÓSITOS DE PESO LEVE PRODUZIDOS A PARTIR DE SILICATO DE CÁLCIO CARBONATÁVEL E MÉTODOS DOS MESMOS. Um material compósito aerado produzido a partir de composições de silicato de cálcio carbonatável (AAC curado de carbonação) que apresenta uma força compressiva equivalente ao concreto aerado autoclavado (AAC habitual), substancialmente, na mesma densidade, e um processo de produção do mesmo são fornecidos. O material compósito da presente invenção compreende: uma pluralidade de elementos de ligação, cada um incluindo um núcleo compreendendo silicato de cálcio, uma primeira camada que circunda parcial ou completamente o núcleo e é rica em SiO2, e uma segunda camada que circunda parcial ou completamente a primeira camada e é rica em CaCO3; uma pluralidade de partículas enchedoras que apresentam seus tamanhos de partícula que variam de 0,1 micrometro a 1000 micrometro; e uma pluralidade de vácuos; em que a pluralidade de elementos de ligação e pluralidade de partículas enchedoras em conjunto formam uma matriz de ligação e são substancial e igualmente dispersas na matriz e ligadas e a pluralidade de vácuos está na forma de bolha e/ou canais interconectados.

MATERIAL COMPÓSITO DE PESO LEVE PRODUZIDO A PARTIR DE SILICATO DE CÁLCIO CARBONATÁVEL E PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM MATERIAL COMPÓSITO

REIVINDICAÇÕES DE PRIORIDADE E PEDIDOS DE PATENTE RELACIONADOS

[001]Este pedido reivindica o benefício de prioridade a partir do Pedido de Utilidade U.S. Nº de Série 14/715.497, depositado em 18 de Maio de 2015, o conteúdo integral do qual é incorporado neste relatório como referência.

CAMPO TÉCNICO DA INVENÇÃO

[002]A invenção, em geral, se refere a um material compósito e a um processo de produção do mesmo. Mais particularmente, a presente invenção se refere a um novo material compósito aerado de peso leve fabricado a partir de uma composição de silicato de cálcio carbonatável e formulações e métodos de fabricação e uso do mesmo. O material compósito aerado de peso leve é compreendido de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e Sílica (SiO_2), como produtos curados de composições de silicato de cálcio carbonatável.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

[003]Em geral, o concreto aerado autoclavado (“AAC habitual”) é um exemplo de concreto pré-moldado de peso leve que é formado sob uma alta temperatura e alta pressão (por exemplo, 190 °C, 12 atm) curado durante 6 a 8 horas usando materiais brutos, tais como materiais calcários de cimento e cal (CaO), materiais siliciosos, tais como sílica (SiO_2), areia de sílica (SiO_2) e outros materiais, tais como gesso ($CaSO_4$), materiais reciclados produzidos na fabricação, tais como cinza volante, metal alumínio e outros agentes de aeração, tensoativos para estabilizar as bolhas e outros enchedores. O agente de aeração causa vácuos de ar para formar na matriz e aumenta a porosidade do material. Isto causa um aumento no volume e, desse modo, reduz a densidade do material.

[004]Os produtos de AAC habituais oferecem algumas vantagens sobre os concretos convencionais, tais como razão força-para-peso satisfatória, força ao fogo, corrosão, térmites e mofos, assim como propriedades de isolamento térmico e amortecimento de som

satisfatórias. Devido ao seu peso leve e precisão dimensional, produtos de AAC habituais podem ser montados com resíduo mínimo, desse modo, reduzindo a necessidade quanto ao equipamento adicional na construção e montagem. Eles oferecem alta durabilidade e exigem manutenção mínima. O peso leve de um AAC habitual também ajuda com a diminuição de custos de transporte. Embora a força compressiva de um AAC habitual dependa de seu volume de vácuo total, o AAC habitual comercialmente disponível obtém cerca de 5 N/mm^2 em uma densidade seca absoluta de 0,50 g/cm^3. Estas propriedades satisfazem suficientemente as exigências de força para materiais de construção.

[005]Apesar de seus benefícios globais, AAC habitual são preparados por processos que comumente sofrem de algumas deficiências. O processo de fabricação de AAC habitual envolve equipamento especial, grande consumo de energia e emissão de dióxido de carbono excessiva, deixando pegada de carbono desfavorável. AACs habituais são, tipicamente, curados em autoclaves em temperaturas que variam de 150 °C a 190 °C e em pressões que variam de 0,8 MPa a 1,2 MPa. Estas condições levam à criação de uma forma estável de tobermorita, que é o elemento de ligação primária no AAC habitual. Além disso, eles são relativamente caros, devido aos altos custos de acabamento e também são difíceis de reciclar.

[006]Como materiais de construção para fabricar paredes, divisórias de sala e pisos, painéis de AAC habitual usam estruturas de reforço (por exemplo, barras de ferro) embutidas dentro das mesmas ou estruturas sem reforço. Tal AAC habitual também consiste de um grande número de poros e bolhas que podem conter, simultaneamente, alguma quantidade de água. Esta água é descoberta estar presente mesmo quando o AAC habitual está em um ambiente de utilização usual. Visto que o AAC habitual apresenta um grande número de bolhas de ar dentro do mesmo, dióxido de carbono a partir do ar pode se infiltrar dentro do AAC habitual com o passar do tempo. O dióxido de carbono infiltrado também pode se dissolver em tal água, onde cálcio derivado de vários componentes também está presente.

[007]Além disso, a água presente no AAC habitual também ajuda na reação entre cálcio e

dióxido de carbono para formar carbonato de cálcio como um precipitado. Em geral, isto é referido como “carbonação”. Este fenômeno de carbonação, usualmente, ocorre em materiais de concreto convencionais. Como um resultado de carbonação, a estrutura de concreto se torna densa e sua força aumenta, embora sua adsorção de água seja falha. Outros fenômenos, simultaneamente, ocorrem, por exemplo, encolhimento da estrutura (matriz), formação de microfendas e queda na força, devido à ferrugem do reforço de ferro que acompanha a neutralização. Fenômenos similares podem surgir com AAC habitual. No AAC habitual, quando tal carbonação procede excessivamente durante um longo período de tempo, o encolhimento da matriz mencionado acima pode causar problemas que acompanham a carbonação, da mesma maneira como no caso de materiais de concreto convencionais.

[008]Para suprimir a carbonação, uma reação hidrotérmica é utilizada na produção de AAC habitual por meio de cura por vapor sob uma alta temperatura e alta pressão (“autoclavagem”) para causar a formação de uma quantidade suficiente do cristal mineral, tobermorita e, desse modo, diminuição da velocidade de carbonação e supressão dos problemas causados pela carbonação, que ocorrem durante um longo período de tempo em um meio de utilização habitual.

[009]Por exemplo, a Publicação da Patente Japonesa Nº 5-310480A descreve AAC habitual como uma estrutura onde as bolhas de ar são conectadas para formar inúmeros poros que se estendem a partir da superfície para o interior, possibilitando que a água seja facilmente absorvida a partir da superfície. Visto que a água absorvida contém gás dióxido de carbono dissolvido, ela reage com os cristais de tobermorita e gel de CSH no AAC habitual para formar carbonato de cálcio e causar o assim chamado fenômeno de carbonação. A Publicação de Patente Japonesa Nº 5-310480A também descreve a prática geral de fabricar painéis de AAC habitual que incluem reforço de ferro do tipo gaiola ou rede de aço ou outro material de reforço. Quando o reforço de ferro ou outro reforço é usado no caso de AAC habitual, ele apresenta uma tendência para absorver água diretamente ao seu centro,

necessitando prevenção contra ferrugem.

[010]Embora o método acima possa ser aplicado para diminuir a taxa de carbonação durante o uso de AAC habitual em um meio de utilização habitual, existem situações onde a quantidade de formação de tobermorita no tempo de produção de AAC habitual é pequena ou quando AAC habitual é usado em um meio, diferente de um meio de utilização habitual, onde a concentração de dióxido de carbono no ar é alta. Em tais circunstâncias, ainda que estes métodos sejam usados, a carbonação excessiva ainda pode se tornar um problema sério. Portanto, existe uma necessidade de mitigar os problemas que podem ocorrer, devido à taxa excessiva de carbonação no caso de AAC habitual.

[011]Recentemente, para evitar, em princípio, os problemas, tais como carbonação em concretos e AAC habitual, o WO 2012/122031A divulga uma matriz de ligação aperfeiçoada no lugar de cimento, concreto ou outro material cerâmico convencional, tal como $CaO{\cdot}2SiO_2{\cdot}4H_2O$ e $CaO{\cdot}H_2O$ ou outro cimento Portland hidratado fraco. O elemento de ligação de tal matriz de ligação é, por exemplo, compreendido de uma partícula precursora compreendida de silicato de cálcio ($CaSiO_3$). Esta partícula precursora pode reagir com o dióxido de carbono dissolvido em água. Cátions cálcio são lixiviados a partir de partículas de silicato de cálcio e transformam a parte periférica do núcleo da partícula de silicato de cálcio em deficiente em cálcio. Conforme os cátions cálcio continuam a ser lixiviados a partir da parte periférica do núcleo, a estrutura da parte periférica eventualmente se torna instável e é quebrada, desse modo, transformando a parte periférica deficiente de cálcio do núcleo em um primeira camada predominantemente rica em sílica. Entretanto, uma segunda camada predominantemente de carbonato de cálcio se precipita a partir da água. A formação destas camadas não é uniforme no caso de partícula compósita.

[012]Especificamente, a primeira camada e a segunda camada são formadas a partir da partícula precursora por uma reação de $H_2O + CaSiO_3 + CO_2 = CaCO_3 + SiO_2 + H_2O$. Isto é, dióxido de carbono, seletivamente, reage com os cátions Ca do núcleo precursor de sílica por meio do qual a parte periférica do núcleo precursor é transformada em uma primeira

camada rica em sílica e segunda camada rica em carbonato de cálcio. A presença da primeira camada e da segunda camada no núcleo atua como uma barreira para reação adicional das partículas de silicato de cálcio e dióxido de carbono. Como um resultado, um elemento de ligação compreendendo um núcleo, primeira camada e segunda camada é formado.

[013]Mais particularmente, o elemento de ligação descrito no WO 2012/122031A já é suficientemente carbonatado no momento da produção, assim, pelo menos os problemas de carbonação que ocorrem junto com o passar do tempo nos concretos e AAC habitual da técnica anterior, são evitados. Este elemento de ligação pode ser formado pelo método de sinterização de fase líquida hidrotérmica auxiliada por gás. Em tal método, um corpo sólido poroso, incluindo uma pluralidade de partículas precursoras, é exposto a um solvente, que, parcialmente, satura os poros do corpo sólido poroso, isto é, que o volume dos poros é parcialmente enchido com água. Um gás compreendendo um reagente de dióxido de carbono é introduzido nos poros parcialmente saturados do corpo sólido poroso onde o solvente dissolve o reagente. O reagente dissolvido é depletado do solvente, devido à reação, mas o gás compreendendo o reagente continua a ser introduzido nos poros parcialmente saturados para fornecer reagente adicional ao solvente.

[014]Conforme a reação entre o reagente e pelo menos o primeiro elemento químico das partículas precursoras progride, a parte periférica da partícula precursora é transformada na primeira camada e na segunda camada. A presença da primeira camada na periferia do núcleo, eventualmente, ainda impede a reação por meio da separação do reagente e de pelo menos o primeiro elemento químico a partícula precursora, desse modo, fazendo com que a reação seja eficazmente interrompida, deixando um elemento de ligação que apresenta o núcleo como o centro não reagido da partícula precursora, a primeira camada em uma periferia do núcleo, e uma segunda camada na primeira camada. Como um resultado da transformação, o núcleo apresenta uma forma similar à partícula precursora, mas apresenta um tamanho menor. A primeira camada e a segunda camada, parcial ou completamente, cobrem o núcleo e apresentam espessuras uniformes ou não uniformes

que possibilitam a formação de estruturas porosas, dependendo do tamanho e forma dos poros que circundam a partícula precursora durante o processo de transformação. O elemento de ligação resultante inclui o núcleo, a primeira camada e a segunda camada e é, em geral, maior em tamanho do que a partícula precursora, se enchendo nas regiões porosas circundantes do corpo sólido poroso e, possivelmente, se ligando com materiais adjacentes no corpo sólido poroso. Como um resultado, a forma líquida dos produtos que podem ser formados apresenta mais ou menos o mesmo tamanho e forma como suas formas originais, mas um densidade maior do que o corpo sólido poroso.

[015]Além disso, o WO 2014/165252A divulga um material curado por carbonação constituído por um material compósito aerado usando uma composição de silicato de cálcio carbonatável e um processo de produção do mesmo. Conforme explicado acima, AAC habitual utiliza a reação hidrotérmica, devido à autoclavagem no momento da produção, de modo a formar cristais de tobermorita e curar o material, seguido por uma redução na temperatura e pressão, respectivamente, até a temperatura e pressão habituais. O material depois é removido do autoclave para processamento de suas superfícies e partes de extremidade para as especificações do produto antes da fornecer o mesmo para uso prático.

[016]No processo de produção do material compósito aerado usando uma composição de silicato de cálcio carbonatável (“ACC curado por carbonação”), a carbonação ocorre quando o cálcio e dióxido de carbono são reagido. Este novo método de substituir cimento Portland convencional para produzir AAC pode reduzir significantemente exigência de energia e emissões de CO_2. As composições de silicato de cálcio carbonatável divulgadas são preparadas a partir de materiais brutos de baixo custo amplamente disponíveis por um processo adequado para produção em larga escala com exigências de equipamento e produção flexíveis. Este método único também está acompanhado por uma proficiência excelente quanto ao CO_2 sequestrante permanente e seguro. Uma ampla variedade de aplicações pode se beneficiar da invenção, da construção, pavimentações e paisagismo, até infraestrutura e transporte através de consumo de energia aperfeiçoado e pegada de

carbono mais desejável.

[017]Assim, em um material compósito aerado fabricado a partir de uma composição de silicato de cálcio carbonatável, a atmosfera de alta temperatura e alta pressão em AAC habitual não é exigida e a autoclavagem se torna desnecessária. Se torna possível reduzir significantemente a temperatura no momento da cura. Isto é, em um material compósito aerado usando uma composição de silicato de cálcio carbonatável, a carbonação é utilizada para a cura por si só, de modo que a carbonação depois da produção pode ser amplamente reduzida e a ocorrência de problemas no caso de AAC habitual associada com carbonação excessiva pode ser fundamentalmente eliminada.

[018]O WO 2014/165252A descreve um material compósito aerado fabricado a partir de composições de silicato de cálcio onde uma pluralidade de vácuos compreende canais na forma de bolha e/ou interconectados responsáveis por 50 % em vol a 80 % em vol do material compósito e onde o material compósito exibe uma densidade de aproximadamente 300 kg/m^3 a 1500 kg/m^3, exibe uma força compressiva de aproximadamente 2,0 MPa a aproximadamente 8,5 MPa (N/mm^2) e exibe uma força à flexão de aproximadamente 0,4 MPa a aproximadamente 1,7 MPa.

[019]Entretanto, a força compressiva de um material compósito aerado depende da densidade e, adicionalmente, a densidade depende do volume do vácuo. O volume do vácuo, mais particularmente, pode ser dividido no volume da bolha e no volume do poro. O volume da bolha depende da quantidade de adição do agente de formação de espuma (agente de aeração), tal como metal alumínio (pó de alumínio). A modificação da quantidade de adição deste agente de formação de espuma pode controlar facilmente o volume da bolha. Por outro lado, o volume do poro pode ser controlado pelo teor de água presente no momento de mistura dos materiais brutos (razão água/sólidos (A/S)) e pelo grau de avanço de carbonação no momento da cura. Isto é, em princípio, estes fatores podem ser modificados para controlar a propriedade de densidade-força. A literatura, entretanto, não divulga ou mostra especificamente qual tipo de força compressiva pode ser obtida em um

volume do vácuo específico e uma densidade específica, muito menos, especificamente, divulga, mostra ou sugere o volume do vácuo e, mais particularmente, o volume da bolha e volume do poro.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[020]Um material compósito aerado preparado a partir das composições de silicato de cálcio apresenta várias vantagens comparadas ao AAC habitual. Entretanto, enquanto um AAC habitual comercialmente disponível realiza uma força compressiva maior de aproximadamente 5 N/mm^2 em uma densidade seca absoluta de 0,50 g/cm^3 e satisfaz, adequadamente, as exigências de força como um material de construção, permanece um desafio para produzir um material compósito aerado a partir das composições de silicato de cálcio que obtém uma força compressiva similar ao AAC habitual na mesma quantidade de bolhas quando comparado com o último no estado atual da técnica. Sob as circunstâncias, o problema técnico da presente invenção é fornecer um material compósito aerado que é preparado a partir das composições de silicato de cálcio, que apresenta uma força compressiva equivalente ao AAC habitual, substancialmente, na mesma densidade.

[021]Os inventores se empenharam em estudos intensivos e experimentos repetidos para resolver este problema e, como um resultado, descobriram que os poros que apresentam raio a partir de 0,004 μm a 10,0 μm são, na maioria das vezes, saturados por água antes da carbonação. Conforme a composição de silicato de cálcio carbonatável sofre carbonação, estes poros são eficazmente enchidos por precipitação de carbonato de cálcio. Os poros no volume da bolha que apresentam raio de 10,0 μm ou maior não são saturados por água antes da carbonação, assim, nestas bolhas, apenas os precipitados de carbonato de cálcio dentro da camada de água adsorvida. O volume da bolha também pode ser facilmente controlado pela dosagem do agente de formação de espuma (agente de aeração), por exemplo, metal alumínio. Além do controle de volume de bolhas de ar, é muito importante controlar a densificação da parte sólida que suporta as bolhas de ar (abaixo, também chamada a “matriz de ligação” ou, simplesmente, a “matriz”). O controle eficaz do volume

do poro afeta amplamente a força compressiva. Portanto, no AAC curado por carbonação, para obter a mesma força compressiva como aquela de um AAC habitual na mesma densidade seca absoluta, o desafio depende do aumento do volume da bolha, prevenindo uma queda na força compressiva e uma redução no volume do poro (em outras palavras, aumento da carbonação, de modo a densificar as parte sólidas que suportam as bolhas de ar). Os inventores concluíram a presente invenção com base neste descoberta. Isto é, a presente invenção é esboçada abaixo:

[022]Em um aspecto, a invenção, em geral, se refere a um material compósito, que inclui: uma pluralidade de elementos de ligação, incluindo um núcleo compreendendo silicato de cálcio, uma primeira camada que circunda parcial ou completamente o núcleo e é rica em SiO_2, e uma segunda camada que circunda parcial ou completamente a primeira camada e é rica em $CaCO_3$, uma pluralidade de partículas enchedoras que apresentam tamanhos de partícula de 0,1 μm a 1000 μm; e uma pluralidade de vácuos. No material compósito, a pluralidade de elementos de ligação e a pluralidade de partículas enchedoras formam uma matriz de ligação e são substancial e igualmente dispersas na matriz e são ligadas. A pluralidade de vácuos está na canais na forma de bolha e/ou interconectados; um volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm na pluralidade de vácuos apresenta 0,30 ml/material compósito 1 g ou menos; e uma força compressiva avaliada expressada pela seguinte fórmula (1):

Força compressiva avaliada (densidade seca absoluta = 0,50) = força compressiva x (0,50 ÷ densidade seca absoluta)^2

é 2,0 N/mm^2 ou maior.

[023]Em certas formas de realização, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,24 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada é 2,5 N/mm^2 ou maior.

[024]Em certas formas de realização, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,19 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva

avaliada é 3,7 N/mm^2 ou maior.

[025]Em certas formas de realização, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,17 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada é 4,5 N/mm^2 ou maior.

[026]Em certas formas de realização, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,15 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada é 5,0 N/mm^2 ou maior.

[027]Em certas formas de realização, a pluralidade de elementos de ligação é quimicamente transformada a partir de silicato de cálcio moído. Em certas formas de realização, o silicato de cálcio moído compreende um ou mais entre um grupo de fases de silicato de cálcio selecionadas a partir de CS (volastonita ou pseudovolastonita), C3S2 (ranquinita), C2S (belita, larnita, bredigita), uma fase de silicato de cálcio amorfa, cada material opcionalmente compreende um ou mais íons ou óxidos metálicos, ou combinações dos mesmos.

[028]Em certas formas de realização, a pluralidade de elementos de ligação é quimicamente transformada a partir de volastonita moída ou partículas de cimento compósito compreendendo silicatos de cálcio por meio da reação da volastonita moída ou partículas de cimento compósito compreendendo silicatos de cálcio, com CO_2 por intermédio de um processo de sinterização de fase líquida hidrotérmica (HLPS) controlado.

[029]Em certas formas de realização, as partículas enchedoras são um material rico em CaO. Em certas formas de realização, as partículas enchedoras são selecionadas a partir do grupo que consiste de cal e quartzo. Em certas formas de realização, as partículas enchedoras são selecionadas a partir do grupo que consiste de resíduo industrial, cal, tipos diferentes de cinza volante, escória e sílica fumê.

[030]Em certas formas de realização, a pluralidade de vácuos é formada por gás hidrogênio, que é gerado por meio da reação de um agente de aeração em uma atmosfera alcalina.

[031]Em certas formas de realização, o agente de aeração é um pó, que inclui pelo menos

um entre alumínio, ferro, carbonato de cálcio e combinações dos mesmos.

[032]Em um outro aspecto, a invenção, em geral, se refere a um processo de produção de um material compósito. O processo inclui: formar uma mistura úmida, em que a mistura úmida compreende água, partículas enchedoras compreendendo CaO ou Si que apresentam um tamanho de partícula de 0,1 μm a 1000 μm, partículas de silicato de cálcio moído e um agente de aeração, apresenta uma razão água/sólido (A/S) de 0,45 ou menos; fundir a mistura úmida em um molde; permitir que o agente de aeração gere gás hidrogênio, desse modo, causando a expansão do volume da mistura úmida; pré-curar a mistura expandida obtida em uma dureza, possibilitando que a mesma seja removida do molde e movida; cortar a mistura expandida pré-curada obtida em uma forma de produto desejada; e fazer com que a mistura expandida cortada seja curada na pressão habitual, 60 °C ou mais de temperatura, uma umidade relativa de 65 % ou mais, e uma atmosfera de uma concentração de gás CO_2 de 95 % durante 6 horas a 60 horas.

[033]Em certas formas de realização do processo, as partículas de silicato de cálcio moído compreendem um ou mais entre um grupo de fases de silicato de cálcio selecionadas a partir de CS (volastonita ou pseudovolastonita), C3S2 (ranquinita), C2S (belita, larnita, bredigita), uma fase de silicato de cálcio amorfa, cada material opcionalmente compreende um ou mais íons ou óxidos metálicos, ou combinações dos mesmos. Em certas formas de realização, a temperatura na etapa de carbonação é de 80 °C ou mais. Em certas formas de realização, a umidade relativa na etapa de carbonação é de 95 % ou mais.

[034]Em certas formas de realização, o momento na etapa de carbonação é de 40 horas ou mais.

[035]O material compósito, de acordo com a presente invenção, é AAC curado por carbonação, que apresenta uma força compressiva que é substancialmente igual àquela de AAC habitual e evita os problemas relacionados à carbonação em AAC habitual, realizando a força que é substancialmente igual à força de AAC habitual. O AAC curado por carbonação, portanto, pode ser adequadamente usado como um material de construção. Além disso, no

processo de produção do material compósito, de acordo com a presente invenção, consumo maciço de energia, emissão excessiva de diodo de carbono e pegada de carbono indesejada podem ser suprimidos.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[036]As FIGs. 1(a) a 1(c) são ilustrações esquemáticas de seções transversais de elementos de ligação, de acordo com formas de realização exemplares, incluindo três morfologias de núcleo exemplares: (a) fibroso, (b) elíptico e (c) equiaxial.

[037]FIGs. 2-1: A FIG. 2(a) mostra elementos de ligação na forma de fibra orientados 1D em uma matriz de ligação diluída (elementos de ligação não estão tocando), a FIG. 2(b) mostra elementos de ligação na forma de plaqueta orientados 2D em uma matriz de ligação diluída (elementos de ligação não estão tocando), a FIG. 2 (c) mostra elementos de ligação na forma de plaqueta orientados 3D em uma matriz de ligação diluída (elementos de ligação não estão tocando) e a FIG. 2(d) mostra elementos de ligação na forma de plaqueta aleatoriamente orientados em uma matriz de ligação diluída (elementos de ligação não estão tocando).

[038]FIGs. 2-2: A FIG. 2(e) mostra uma matriz de ligação concentrada (com uma fração de volume suficiente para estabelecer uma rede de percolação) de elementos de ligação onde a matriz é orientada 3D e a FIG. 2(f) mostra uma matriz de ligação concentrada (com uma fração de volume suficiente para estabelecer uma rede de percolação) de elementos de ligação aleatoriamente orientados, em que os componentes enchedores, tais como polímeros, metais, partículas inorgânicas, agregados, etc., podem ser incluídos.

[039]A FIG. 3 é um gráfico que mostra a relação entre a densidade de secagem absoluta e a força compressiva de AAC habitual e AAC curado por carbonação.

[040]A FIG. 4 é um gráfico que mostra a mudança na distribuição de poro antes e depois da etapa de carbonação de AAC curado por carbonação em A/S = 0,45.

[041]A FIG. 5 é um gráfico que mostra a mudança na distribuição de poro antes e depois da carbonação de AAC curado por carbonação em A/S = 0,40.

[042]A FIG. 6 é um gráfico que mostra a mudança na distribuição de poro antes e depois da carbonação de AAC curado por carbonação em A/S = 0,35.

[043]A FIG. 7 é um gráfico que mostra a relação entre o grau carbonato de AAC curado por carbonação e o volume por material compósito 1 g de um raio de 0,004 μm a 10,0 μm de região porosa.

[044]A FIG. 8 é um gráfico que mostra a relação entre o volume por material compósito 1 g de um raio de 0,004 μm a 10,0 μm de região porosa (volume do poro) e uma força compressiva avaliada em uma densidade 0,50.

[045]A FIG. 9 é um gráfico que mostra um exemplo de distribuições de tamanho de partícula de volastonita sintética (SC-L®) e NYAD400® (volastonita natural).

[046]A FIG. 10 é um gráfico que mostra um exemplo de distribuições de tamanho de partícula de cal e gesso.

[047]A FIG. 11 é um gráfico que mostra um exemplo de uma distribuição de tamanho de partícula de metal alumínio (Yamato #87).

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[048]Esta invenção fornece um material compósito aerado produzido a partir de uma composição de silicato de cálcio carbonatável que apresenta uma força compressiva equivalente ao AAC habitual, substancialmente, na mesma densidade.

[049]Neste relatório, formas de realização exemplares da presente invenção são explicadas em detalhes.

[050]Em um aspecto, o material compósito da presente invenção é um material compósito compreendendo: uma pluralidade de elementos de ligação, incluindo um núcleo compreendendo silicato de cálcio, uma primeira camada que circunda parcial ou completamente o núcleo e é rica em SiO_2, e uma segunda camada que circunda parcial ou completamente a primeira camada e é rica em $CaCO_3$, em certos exemplos, as camadas não são distintas; uma pluralidade de partículas enchedoras que apresentam tamanhos de partículas de 0,1 μm a 1000 μm; e uma pluralidade de vácuos;

em que

a pluralidade de elementos de ligação e a pluralidade de partículas enchedoras formam uma matriz de ligação e são substancial e igualmente dispersas na matriz e ligadas, a pluralidade de vácuos é canais na forma de bolha e/ou interconectados, um volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm (por exemplo, a partir de 0,004 μm a 5,0 μm, a partir de 0,004 μm a 1,0 μm, a partir de 0,004 μm a 0,5 μm, a partir de 0,004 μm a 0,1 μm, a partir de 0,004 μm a 0,05 μm, a partir de 0,004 μm a 0,01 μm, a partir de 0,01 μm a 10,0 μm, a partir de 0,05 μm a 10,0 μm, a partir de 0,1 μm a 10,0 μm, a partir de 0,5 μm a 10,0 μm, a partir de 1,0 μm a 10,0 μm) na pluralidade de vácuos é 0,30 ml/material compósito 1 g ou menor (por exemplo, 0,24 ml/material compósito 1 g ou menor, 0,19 ml/material compósito 1 g ou menor, 0,17 ml/material compósito 1 g ou menor, 0,15 ml/material compósito 1 g ou menor) e uma força compressiva avaliada expressada pela seguinte fórmula (1):

Força compressiva avaliada (densidade seca absoluta = 0,50) = força compressiva x (0,50 ÷ densidade seca absoluta)^2 é 2,0 N/mm^2 ou mais (por exemplo, 2,5 N/mm^2 ou mais, 3,7 N/mm^2 ou mais, 4,5 N/mm^2 ou mais, 5,0 N/mm^2 ou mais).

[051]Em um outro aspecto, a invenção fornece um processo de produção de um material compósito. O processo inclui: formar uma mistura úmida, em que a mistura úmida compreende água, partículas enchedoras compreendendo CaO ou Si que apresentam um tamanho de partícula de 0,1 μm a 1000 μm (por exemplo, a partir de 0,1 μm a 500 μm, a partir de 0,1 μm a 100 μm, a partir de 0,1 μm a 50 μm, a partir de 0,1 μm a 10 μm, a partir de 0,1 μm a 5 μm, a partir de 0,1 μm a 1 μm, a partir de 0,5 μm a 1000 μm, a partir de 1 μm a 1000 μm, a partir de 5 μm a 1000 μm, a partir de 10 μm a 1000 μm, a partir de 50 μm a 1000 μm, a partir de 100 μm a 1000 μm), partículas de silicato de cálcio moído e um agente de aeração, apresenta uma razão água/sólido (A/S) de 0,45 ou menor (por exemplo, 0,4, 0,35, 0,3, 0,25); fundir a mistura úmida em um molde; permitir que o agente de aeração gere gás hidrogênio, desse modo, causando expansão do volume da mistura úmida; pré-

curar a mistura expandida obtida em uma dureza, possibilitando que a mesma seja retirada do molde e movida; cortar a mistura expandida pré-curada obtida em uma forma de produto desejada; e fazer com que a mistura expandida cortada seja curada na pressão habitual, 60 °C ou mais de temperatura, uma umidade relativa de 65 % ou mais (por exemplo, 70 % ou mais, 75 % ou mais, 80 % ou mais, 85 % ou mais, 90 % ou mais, 95 % ou mais) e uma atmosfera de uma concentração de gás CO_2 de 95 % durante 6 horas a 60 horas (por exemplo, 10 horas, 15 horas, 20 horas, 30 horas, 40 horas, 50 horas).

[052]Qualquer silicato de cálcio adequado pode ser usado como um precursor dos elementos de ligação. A composição de silicato de cálcio pode incluir vários silicatos de cálcio. A razão molar de Ca elementar para Si elementar na composição é de cerca de 0,8 a cerca de 1,2. A composição é compreendido de uma combinação de fases de silicato de cálcio cristalinas distintas, selecionada a partir de uma ou mais entre CS (volastonita ou pseudovolastonita), C3S2 (ranquinita) e C2S (belita ou larnita ou bredigita), em cerca de 30 % ou mais em massa das fases totais. As composições de silicato de cálcio são caracterizadas pelo fato de que apresentam cerca de 30 % ou menos de óxidos metálicos de Al, Fe e Mg por massa de óxido total, e sendo adequadas para carbonação com CO_2 em uma temperatura de cerca de 30 °C a cerca de 90 °C para formar $CaCO_3$ com ganho de massa de cerca de 10 % ou mais.

[053]Composições de silicato de cálcio podem incluir fases de silicato de cálcio amorfas (não cristalinas), além das fases cristalinas descritas acima. A fase amorfa pode incorporar, adicionalmente, íons Al, Fe e Mg e outros íons de impureza presentes nos materiais brutos. Cada uma entre estas fases de silicato de cálcio cristalinas e amorfas é adequada para a carbonação com CO_2.

[054]As composições de silicato de cálcio também podem incluir pequenas quantidades de CaO residual (cal) e SiO_2 (sílica). A composição de silicato de cálcio também pode incluir pequenas quantidades de C3S (alita, $CasSiO_5$). A fase de C2S presente dentro da composição de silicato de cálcio pode existir em qualquer α-Ca_2SiO_4, β-Ca2SiO_4 ou γ-Ca_2SiO_4

polimorfo ou combinação dos mesmos.

[055]As composições de silicato de cálcio também podem incluir quantidades de fases inertes, tais como minerais do tipo melilita (melilita ou gelenita ou akermanita) com a fórmula geral $(Ca, Na, K)_2$ $[(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al , Si)_3O_7]$ e minerais do tipo ferrita (ferrita ou brownmillerita ou C_4AF) com a fórmula geral Ca_2 $(Al, Fe^{3+})_2O_5$. Em certas formas de realização, a composição de silicato de cálcio é compreendida apenas de fases amorfas. Em certas formas de realização, o silicato de cálcio compreende apenas fases cristalinas. Em certas formas de realização, algumas das composição de silicato de cálcio existem em uma fase amorfa e algumas existem em uma fase cristalina.

[056]Conforme usado neste relatório, o termo “composição de silicato de cálcio”, em geral, se refere aos minerais de ocorrência natural ou materiais sintéticos que são compreendidos de um ou mais entre um grupo de fases de silicato de cálcio, incluindo CS (volastonita ou pseudovolastonita e, às vezes, $CaSiO_3$ ou $CaO•SiO_2$ formulado), C3S2 (ranquinita e, às vezes, formulado coma $Ca_3Si_2O_7$ ou $3CaO•2SiO_2$), C2S (belita, β-Ca_2SiO_4 ou larnita, β-Ca_2SiO_4 ou bredigita, α-Ca_2SiO_4 ou γ-Ca_2SiO_4 e, às vezes, formulado coma $Ca2SiO_4$ ou $2CaO•SiO_2$), uma fase amorfa com base em silicato de cálcio, cada material pode incluir um ou mais íons e óxidos metálicos (por exemplo, óxidos de alumínio, magnésio, ferro ou manganês), ou combinações dos mesmos, ou pode incluir uma quantidade de silicato de magnésio nas formas de ocorrência natural ou formas sintéticas que variam de quantidade traço (1 %) a cerca de 50 % ou mais em peso.

[057]Deve ser observado que, preferivelmente, a composição de silicato de cálcio carbonatável não é hidratada. Entretanto, quantidades menores de fases de silicato de cálcio hidratáveis (por exemplo, C2S, C3S e CaO) podem estar presentes. C2S exibe cinética lenta de hidratação quando exposta à água e é rapidamente convertida em $CaCO_3$ durante os processos de cura de CO_2. C3S e CaO são hidratadas rapidamente após exposição à água e, assim, devem ser limitadas a <5 % em massa.

[058]As fases de silicato de cálcio incluídas na composição de silicato de cálcio não são

hidratadas quando expostas à água, devido aos compósitos produzidos usando uma composição de silicato de cálcio como o agente de ligação não gerarem força significante quando combinados com água. A geração de força é controlada pela exposição de composição de silicato de cálcio contendo compósitos aos regimes de cura específicos na presença de CO_2.

[059]Deve ser entendido que, composições de silicato de cálcio, fases e métodos divulgados neste relatório podem ser adotados para o uso de fases de silicato de magnésio no lugar de ou além das fases de silicato de cálcio. Conforme usado neste relatório, o termo “silicato de magnésio” se refere a minerais de ocorrência natural ou materiais sintéticos que são compreendidos de um ou mais entre um grupos de compostos contendo magnésio e silício incluindo, por exemplo, Mg_2SiO_4 (também conhecido como “fosterita”) e $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (também conhecido como “talco”), tal material pode incluir um ou mais íons e óxidos metálicos (por exemplo, óxidos de cálcio, alumínio, ferro ou manganês), ou combinações dos mesmos, ou pode incluir uma quantidade de silicato de cálcio nas formas de ocorrência natural ou sintéticas que variam de quantidade traço (1 %) a cerca de 50 % ou mais em peso.

[060]Na presente forma de realização, a pluralidade de elementos de ligação, preferivelmente, pode ser quimicamente transformada a partir de composição de silicato de cálcio sintética ou de ocorrência natural moída, mais preferivelmente, pode ser quimicamente transformada a partir de composição de silicato de cálcio moída por meio da reação da composição de silicato de cálcio carbonatável sintética ou de ocorrência natural moída com CO_2 por sinterização de fase líquida hidrotérmica controlada (HLPS).

[061]Além disso, vários aparelhos de HLPS são divulgados e vários características de HLPS podem ser encontradas na Patente U.S. Nº 8.114.367, Pub. U.S. Nº US 2009/0143211 (Pedido Nº de Série 12/271.566), Publicação U.S. Nº U.S. 2011/0104469 (Pedido Nº de Série 12/984.299), Publicação U.S. Nº 2009/0142578 (Pedido Nº de Série 12/271.513), Publicação U.S. Nº 2013/0122267 (Pedido Nº de Série 13/411.218), Publicação U.S. Nº 2012/0312194

(Pedido Nº de Série 13/491.098), WO 2009/102360 (PCT/US 2008/083606), WO 2011/053598 (PCT/US 2010/054146), WO 2011/090967 (PCT/US 2011/021623), Pedido de Patente Provisório U.S. Nº 61/708.423 depositado em 1 de Outubro de 2012 e Pedidos de Patente U.S. Nºs 14/045.758, 14/045.519, 14/045.766, 14045540, todos depositados em 3 de Outubro de 2013, Pedidos de Patente U.S. Nºs 14/207.413, 14/207.421, depositados em 12 de Março de 2014, Pedidos de Patente U.S. Nºs 14/207.920, 14/209.238, depositados em 13 de Março de 2014, Pedidos de Patente U.S. Nºs 14/295.601, 14/295.402, depositados em 4 de Junho de 2014, cada um dos quais é expressa e integralmente incorporado neste relatório como referência para todos os propósitos.

[062]As FIGs. 1(a) a 1(c) mostram formas de realização exemplares de três tipos de elementos de ligação. As formas e morfologias dos núcleos e/ou elementos de ligação podem ser as mesmas ou similares às formas das partículas precursoras. Portanto, as partículas precursoras e, de acordo com as mesmas, os elementos de ligação e/ou núcleos correspondentes podem incluir aqueles de formas esféricas, elípticas, hexagonais ou outras formas poligonais ou diversas outras formas, mas podem apresentar diversas morfologias não limitadas a estas. Além disso, as morfologias das partículas precursoras e, de acordo com as mesmas, os elementos de ligação e/ou núcleos correspondentes podem incluir estados equiaxiais ou estados onde um eixo é maior do que os outros, tais como com uma forma de fio ou bastão. Além disso, as partículas precursoras podem incluir cristais únicos (isto é, ser “monocristalinas”) ou uma pluralidade de cristais (isto é, ser “policristalinas”). As partículas precursoras, realmente, podem incluir uma pluralidade de partículas ou incluem fases amorfas. Conforme explicado acima, na presente forma de realização, os ânions e cátions diferem nas camadas diferentes. O núcleo apresenta íons Ca^{+2}, Si^{+4} e O^{-2}, a segunda camada, principalmente, apresenta Si^{+4} e O^{-2} e uma pequena quantidade de íons Ca^{+2}, mas a segunda camada apresenta íons Ca^{+2} e CO_3^{-2}.

[063]A matriz de ligação da presente forma de realização inclui a pluralidade de elementos de ligação acima. A matriz de ligação pode ser porosa. Conforme explicado mais tarde, o

volume do vácuo depende de muitas variáveis, que podem ser usadas para controlar a porosidade, tal como: temperatura, projeto do reator, material precursor e quantidade de líquido que é introduzida na etapa de carbonação (transformação).

[064]A matriz de ligação pode incorporar partículas enchedoras, que são misturadas com os materiais precursores durante o processo de transformação explicado mais tarde para criar o material compósito.

[065]Em geral, as partículas enchedoras podem incluir diversos tipos de materiais que podem ser incorporados na matriz de ligação, tais como materiais inertes e materiais ativos. Um material inerte que não passa em qualquer reação química durante a transformação e não atua como um sítio de nucleação. Um material ativo pode ser compreendido de um primeiro tipo, que que não passa em qualquer reação química durante a transformação, mas atua como um sítio de nucleação e/ou um segundo tipo, que quimicamente reage com a matriz de ligação durante a transformação. O material inerte pode interagir física ou mecanicamente com a matriz de ligação, mas não passa em qualquer reação química durante a transformação e não atua como um sítio de nucleação. O material inerte pode incluir polímeros, metais, partículas inorgânicas, agregados e semelhantes. O primeiro tipo de material ativo que não passa em qualquer reação química durante a transformação, mas atua como um sítio de nucleação. Além disso, pode interagir física ou mecanicamente com a matriz de ligação. Quando do uso de elementos de ligação que apresentam uma fase de carbonato como a segunda camada, este tipo de material ativo, por exemplo, pode incluir pedra calcária, pó de mármore e outros materiais contendo carbonato de cálcio. O segundo tipo de material ativo reage quimicamente com a matriz de ligação durante a transformação. Por exemplo, cal prepara o pH alcalino na etapa da mistura úmida e causa a geração de gás hidrogênio pela adição de pó de alumínio (metal alumínio) para contribuir com a formação de bolhas, depois, atua como uma fonte de cálcio durante a transformação. Além disso, hidróxido de magnésio pode ser usado como um enchedor. Ele pode reagir quimicamente com uma dissolução de fase de componente de cálcio a partir da matriz de ligação para

formar carbonato de magnésio e cálcio. Além disso, gesso reage quimicamente com a matriz de ligação durante a transformação e é, às vezes, adicionado para o propósito de aumentar a dureza no momento da pré-cura.

[066]Na presente forma de realização, as partículas enchedoras, por exemplo, podem ser materiais contendo CaO ou contendo silício. As partículas enchedoras podem ser, por exemplo, cal, quartzo (incluindo areia), volastonita, xonotlita, xisto de petróleo queimado, cinzas volantes ou vulcânicas, pilha de pó de fornos, argila moída, pó de pedra-pomes. Materiais, tais como materiais de resíduo industrial, cal, escória e sílica fumê também podem ser usados. Em certas formas de realização preferidas, as partículas enchedoras podem ser agregados de peso leve, tais como pearlita ou vermiculita, por exemplo, também podem ser um material rico em CaO, tal como cal moída. Nesta Descrição, o termo “cal” significa um material inorgânico de ocorrência natural ou sintético, principalmente, compreendido de CaO ou $Ca(OH)_2$. A pluralidade de partículas enchedoras pode apresentar qualquer tamanho de partícula médio e distribuição de tamanho adequados dependentes do material compósito desejado. Entretanto, na presente forma de realização, a pluralidade de partículas enchedoras pode apresentar um tamanho de partícula de 0,1 μm a 1000 μm de tamanho. O material compósito da presente forma de realização pode ainda conter um ou mais aditivos para corrigir a aparência e propriedades físicas ou mecânicas. A FIG. 10 mostra um exemplo da distribuição de tamanho de partícula de cal e gesso. Além disso, a FIG. 11 mostra um exemplo da distribuição de tamanho de partícula de metal alumínio (Yamato #87).

[067]Dentro da matriz de ligação, os elementos de ligação podem ser posicionados entre si em qualquer uma das orientações. Como tal, a matriz de ligação pode exibir diversos padrões diferentes. Por exemplo, os elementos de ligação podem ser alinhados em uma direção (isto é, orientação “1-D”), duas direções (isto é, orientação “2-D”) ou três direções (isto é, orientação “3-D”). Alternativamente, os elementos de ligação podem ser alinhados em um padrão aleatório (isto é, orientação “aleatória”). Além disso, a concentração dos

elementos de ligação na matriz de ligação pode variar. Por exemplo, a concentração de elementos de ligação em uma base de volume pode ser relativamente alta, em que pelo menos alguns dos elementos de ligação estão em contato com um outro. Esta situação pode surgir se o enchedor material é incorporado na matriz de ligação, mas o tipo de material enchedor e/ou a quantidade de material enchedor é tal que o nível de diluição volumétrica do elemento de ligação é relativamente baixo. Em um outro exemplo, a concentração de elementos de ligação em uma base de volume pode ser relativamente baixa, em que os elementos de ligação são mais amplamente dispersos dentro da matriz de ligação, tal que poucos elementos de ligação estão em contato com um outro. Esta situação pode surgir se o material enchedor é incorporado na matriz de ligação e o tipo de material enchedor e/ou a quantidade de material enchedor é tal, que o nível de diluição é relativamente alto. Além disso, a concentração de elementos de ligação em uma base de volume pode ser aquela onde todos, ou substancialmente todos os elementos de ligação contatam um com o outro.

[068]As FIGs. 2(a) a 2(d) ilustram matrizes de ligação que incluem elementos de ligação na forma de fibra ou plaqueta em orientações diferentes, possivelmente, diluídas pela incorporação de material enchedor, conforme representado pelo espaçamento entre os elementos de ligação. A FIG. 2(e) ilustra uma matriz de ligação que inclui uma concentração relativamente alta de elementos de ligação na forma de plaquetas que são alinhados em uma orientação 3-D, por exemplo, as direções x, y e z. Uma concentração relativamente alta de elementos de ligação é mostrada pela falta de enchedor em torno dos elementos de ligação, portanto, existe quase nenhuma ou absolutamente nenhuma diluição de elementos de ligação. Ao contrário, a FIG. 2(f) ilustra uma matriz de ligação que inclui uma concentração relativamente baixa de elementos de ligação na forma de plaquetas que estão situados em uma orientação aleatória. Uma concentração relativamente baixa de elementos de ligação é mostrada pela presença de enchedores em torno dos elementos de ligação; portanto, existe pelo menos um certo grau de diluição de elementos de ligação. Devido à concentração e orientação dos elementos de ligação na FIG. 2(f), o material compósito pode

ser chamado uma rede de percolação.

[069]Por exemplo, um sistema hierárquico de repetição de um nível, em geral, é formado por meio da combinação de dois tamanhos diferentes de uma ordem ou faixas diferentes de tamanhos de partícula e pode ser descrito como um “material compósito”. Partículas de tamanho maior não são limitadas a estas, mas estas podem ser arranjadas no material de empacotamento denso hexagonal ou material de empacotamento denso cúbico ou material de empacotamento aleatório ou outros tipos diferentes de material de empacotamento e formam uma rede, incluindo espaços de vácuo, enquanto partículas de tamanho menor podem ser posicionadas nos vácuos das partículas de tamanho maior. De maneira ideal, estes sistemas hierárquicos podem ser preparados usando partículas de tamanho diferente nos níveis diferentes. Por exemplo, os elementos de ligação constituídos por partículas esféricas que apresentam 1 mm de diâmetro enchem os espaços de vácuo de partículas esféricas empacotadas que apresentam 10 mm de diâmetro. Entretanto, na realidade, é difícil obter partículas monodispersas; portanto, um sistema hierárquico é mostrado pelo uso de uma distribuição contínua do modo do tamanho de partícula.

[070]A pluralidade de elementos de ligação pode apresentar qualquer tamanho de partícula médio e distribuição de tamanho adequados, dependendo do material compósito desejado. Entretanto, na presente forma de realização, conforme explicado abaixo, é necessário elevar o grau de carbonação em um raio de 0,2 μm a 3,0 μm de volume do poro na pluralidade de vácuos, de modo que os elementos de ligação possam ser fabricados em tamanhos adequado para isto, por exemplo, conforme mostrado na FIG. 9, cerca de 2 μm a 50 μm. Além disso, conforme explicado acima, o tamanho de partícula do elemento de ligação aumenta um pouco acima do tamanho de partícula do precursor, devido à presença da primeira camada rica em SiO_2 que é produzida pela carbonação do precursor do elemento de ligação e, parcial ou completamente, circunda o núcleo do silicato de cálcio e a segunda camada rica em $CaCO_3$ que parcial ou completamente circunda a primeira camada.

[071]Uma pluralidade de bolhas é formada pelo material de gás, que é gerado pelo agente

de aeração. Na presente forma de realização, preferivelmente, uma pluralidade de vácuos de bolha é formada pelo gás hidrogênio, que é gerada pela reação do agente de aeração sob condições alcalinas. O agente de aeração é, preferivelmente, um pó contendo pelo menos um entre alumínio, ferro, carbonato de cálcio e suas misturas, mais preferivelmente, é um pó de metal alumínio. Na presente forma de realização, o tamanho das bolhas é, em geral, um raio de 10 μm ou maior. Qualquer agente de aeração adequado pode ser utilizado, contanto que seja capaz de formar uma pluralidade de vácuos que constituem canais na forma de bolha e/ou interconectados.

[072]A quantidade de poros também é dependente do teor de água da mistura inicial no momento da mistura dos materiais e pelo grau do progresso de carbonação no momento da carbonação. Isto também está relacionado ao volume do poro com poros que apresentam um raio de 0,004 μm a 10,0 μm (por exemplo, de 0,004 μm a 5,0 μm, de 0,004 μm a 1,0 μm, de 0,004 μm a 0,5 μm, de 0,004 μm a 0,1 μm, de 0,004 μm a 0,05 μm, de 0,004 μm a 0,01 μm, de 0,01 μm a 10,0 μm, de 0,05 μm a 10,0 μm, de 0,1 μm a 10,0 μm, de 0,5 μm a 10,0 μm, de 1,0 μm a 10,0 μm).

[073]O material compósito da presente forma de realização pode ser produzido por um processo de produção compreendendo as seguintes etapas:

formar uma mistura úmida, em que a mistura úmida compreende água, partículas enchedoras compreendendo CaO ou Si que apresentam um tamanho de partícula de 0,1 μm a 1000 μm, partículas da composição de silicato de cálcio moída, e um agente de aeração e apresenta uma razão água/sólido (A/S) de 0,45 ou menos; uma etapa de fundir a mistura úmida em um molde;

permitir que o agente de aeração gere gás hidrogênio, desse modo, causando a expansão do volume da mistura úmida;

pré-curar a mistura expandida obtida para torná-la suficiente dura possibilitando que a mesma seja retirada do molde e movida;

cortar a mistura expandida pré-curada obtida em uma forma de produto desejada (por

exemplo, usando corda de piano); e causando carbonação da mistura expandida cortada para curar a mesma na pressão habitual, 60 °C ou mais de temperatura, uma umidade relativa de 65 % ou mais, e uma atmosfera de uma concentração de gás CO_2 de 95 % durante 6 horas a 60 horas.

[074]Quando formar uma mistura úmida, vários ingredientes são misturados em uma ordem específica. Por exemplo, água é adicionada; partículas enchedoras compreendendo CaO ou Si que apresentam um tamanho de partícula de 0,1 μm a 1000 μm de tamanho e composição de silicato de cálcio moída são adicionados e misturados, depois o agente de aeração é adicionado e misturado.

[075]Em uma forma de realização preferida, as partículas da composição de silicato de cálcio moída são de cerca de 0,5 μm a 100 μm em tamanho e são partículas moídas de composição de silicato de cálcio de ocorrência natural ou sintética. Por exemplo, em uma composição de silicato de cálcio carbonatável exemplar, as partículas enchedoras compreendendo CaO ou Si que apresentam um tamanho de partícula de 1 μm a 300 μm de tamanho são cal moída, o agente de aeração pode ser pó de alumínio. Além disso, a composição do tipo partícula pode ser de cerca de 80 % em peso a cerca de 95 % em peso da composição de silicato de cálcio moída, cerca de 5 % em peso a cerca de 20 % em peso de cal moída e cerca de 0,1 % em peso a cerca de 0,5 % em peso de pó de alumínio em termos de porcentagem com respeito ao teor de sólido da composição de silicato de cálcio moída, cal e outras partículas enchedoras (abaixo, expressadas como “sólidos”).

[076]Na presente forma de realização, conforme explicado mais tarde, a partir do ponto de vista de elevar a força compressiva do material compósito obtido, é importante preparar a razão de água/sólidos (A/S) da mistura úmida que é formada na etapa de formar a mistura úmida de 0,45 ou menos.

[077]Na presente forma de realização, a etapa de carbonação pode ser realizada na pressão habitual, mas a presente invenção não exclui pressurização. Além disso, na presente forma de realização, a etapa de carbonação pode ser realizada em uma concentração de gás CO_2,

atmosfera 95 %, mas a presente invenção não exclui uma concentração menor do que 95 %. O tamanho de partícula da composição de silicato de cálcio moída, por exemplo, pode ser cerca de 2 μm a 50 μm em tamanho. O tamanho de partícula é o tamanho de partícula médio. Além disso, a densidade em massa das partículas da composição de silicato de cálcio moída pode ser cerca de 0,6 g/ml a cerca de 1,2 g/ml.

[078]Na etapa de carbonação, a composição de silicato de cálcio pode reagir com o dióxido de carbono, que é dissolvido na água. Os cátions cálcio são lixiviados a partir da composição de silicato de cálcio, por meio da qual a parte periférica do núcleo do silicato de cálcio é transformada em silicato de cálcio de deficiente de cálcio. Juntamente com os cátions cálcio sendo lixiviados a partir da parte periférica do núcleo, a estrutura da parte periférica, eventualmente, se torna instável e se rompe, desse modo, transformando a parte periférica deficiente de cálcio do núcleo em uma primeira camada rica em SiO_2. Entretanto, uma segunda camada rica em $CaCO_3$ se precipita a partir da água. A primeira camada e a segunda camada podem ser formadas a partir da partícula precursora do elemento de ligação, de acordo com a seguinte fórmula (1):

$CaSiO_3$ (s) + CO_2 (g) = $CaCO_3$ (s) +Si02(s) $\Delta H° = -87$ kJ/mol CO_2 (2)

[079]Em uma reação de carbonação de um mineral silicato, tal como volastonita, CO_2 é introduzido como uma fase gasosa que dissolve em um fluido de infiltração, tal como água. A dissolução de CO_2 forma ácido carbônico que resulta em uma diminuição de pH na solução. A solução fracamente ácida dissolve uma quantidade fixa de cálcio a partir de $CaSiO_3$. Os cátions cálcio liberados e o carbonato dissolvido levam à precipitação de carbonatos insolúveis. Neste relatório, as primeiras camadas ricas em sílica permanecem nas partículas minerais como camadas de depleção. Desta maneira, na presente forma de realização, a primeira camada e a segunda camada no núcleo atuam como uma barreira para reação adicional entre silicato de cálcio e dióxido de carbono, resultando no elemento de ligação que apresenta um núcleo, primeira camada e segunda camada. O $CaCO_3$ produzido a partir das reações de carbonação de CO_2 divulgadas neste relatório pode existir como um ou mais

entre vários polimorfos de $CaCO_3$ (por exemplo, calcita, aragonita, e vaterita). Os $CaCO_3$ estão, preferivelmente, na forma de calcita, mas também podem estar presentes como aragonita ou vaterita ou como uma combinação de dois ou três entre os polimorfos (por exemplo, calcita/aragonita, calcita/vaterita, aragonita/vaterita ou calcita/aragonita/vaterita).

[080]Em um aspecto preferível, processos de HLPS auxiliados por gás utilizam espaço de poro parcialmente infiltrado, de modo a permitir difusão gasosa para infiltrar rapidamente a mistura expandida depois da etapa de pré-cura e saturar películas de solvente interfacial líquidas finas nos poros com CO_2 dissolvido. CO_2 apresenta baixa solubilidade em água pura (1,5 g/litro a 25 °C, 1 atm). Assim, CO_2 deve ser continuamente fornecido e distribuído em toda a mistura expandida depois da etapa de pré-cura para permitir conversão de carbonato significante. A utilização da difusão de fase gasosa oferece um grande aumento (cerca de 100 vezes) na duração de difusão em relação à difusão de CO_2 solúvel em um tempo equivalente em uma fase líquida. (“Handbook of chemistry and physics”, Editor: D. R. Lide, Capítulos 6 e 8, 87ª Edição 2006 a 2007, CRC). Este estado parcialmente infiltrado permite que a reação proceda em um alto grau de carbonação em um período de tempo fixo.

[081]No método HLPS, usualmente, a mistura expandida depois da etapa de pré-cura compreendendo uma pluralidade de partículas precursoras é cortada em uma forma pré-determinada e depois é colocada em uma câmara de cura por carbonação e aquecida. Água como um solvente é introduzida nos poros na mistura expandida por meio de vaporização da água na câmara. Uma placa de esfriamento acima da mistura expandida condensa a água evaporada que depois goteja sobre a mistura expandida e nos poros, assim, parcialmente, saturando os poros. Alternativamente, a água pode ser aquecida e pulverizada. Entretanto, o dióxido de carbono reagente é bombeado na câmara e o dióxido de carbono se difunde nos poros parcialmente saturados da mistura expandida depois da etapa de pré-cura. Uma vez nos poros, o dióxido de carbono se dissolve na água, assim, permitindo a reação entre as partículas precursoras e o dióxido de carbono para transformar

a parte periférica da partícula precursora na primeira e segunda camadas. Conforme a reação entre o reagente e a primeira camada progride, o reagente continua a reagir com a primeira camada, transformando a parte periférica da primeira camada na segunda camada. A formação da segunda camada pode ocorrer pela exo-solução de um componente na primeira camada e tal segunda camada pode ser uma camada de gradiente, em que a concentração de um dos elementos químicos (cátions) que constitui a segunda camada varia de alta a baixa se move a partir da superfície da partícula do núcleo para a extremidade da primeira camada.

[082]A presença da segunda camada na periferia do núcleo precursor, eventualmente, impede reação adicional por meio da separação do reagente e da primeira camada, fazendo com que a reação seja eficazmente interrompida, deixando um elemento de ligação que apresenta o núcleo, a primeira camada em uma periferia do núcleo e uma segunda camada na primeira camada. O elemento de ligação resultante é, em geral, maior em tamanho do que a partícula precursora original, desse modo, se enchendo nas regiões porosas circundantes da mistura expandida depois da etapa de pré-cura e ligação com materiais adjacentes da mistura expandida depois da etapa de pré-cura. Como um resultado, o método permite formação de produtos na forma líquida que apresentam, substancialmente, a mesma forma, mas uma densidade maior do que a mistura expandida original depois da etapa de pré-cura. A água líquida nos poros acelera a taxa de reação, pelo fato de que é essencial para a ionização de ácido carbônico e cálcio. Entretanto, níveis de água precisam ser baixos o suficiente, tal que o gás CO_2 pode se difundir na matriz porosa antes da dissolução na fase de água ligada ao poro. Além disso, a pré-forma porosa de dissolução ativa serve como um modelo para crescimento de cristal reativo expansivo. Portanto, os elementos de ligação e matrizes podem ser formados com distorção mínima e tensões residuais.

[083]Portanto, na etapa de carbonação, para produzir um produto com as propriedades físicas desejadas, várias combinações de condições de cura, incluindo a temperatura e

pressão da reação, são estudadas. Por exemplo, água está presente como água residual na mistura expandida depois da etapa de pré-cura. Para manter o nível de água e prevenir perda de água, devido à evaporação na etapa de carbonação, vapor de água é fornecido à mistura expandida depois da etapa de pré-cura junto com o CO_2. A etapa de carbonação é, em geral, realizada em cerca de 60 °C na pressão habitual durante 18 a 19 horas.

[084]Na forma de realização acima da presente invenção, a temperatura na etapa de carbonação foi uma temperatura de 60 °C ou mais, mas, em alguns casos, 80 °C ou mais é preferível. Além disso, a umidade relativa na etapa de carbonação foi de 65 % ou mais, mas, em alguns casos, 95 % ou mais é preferível. Além disso, o tempo na etapa de carbonação foi de 6 horas a 60 horas, mas, em alguns casos, 40 horas ou mais é preferível.

[085]Conforme explicado acima, concreto aerado comercialmente disponível (AAC habitual) realiza uma força compressiva maior de aproximadamente 5,0 N/mm^2 em uma densidade seca absoluta de 0,5 g/cm^3 e satisfaz suficientemente as exigências de força como um material de construção, enquanto um material compósito aerado usando composição de silicato de cálcio carbonatável apresenta uma força compressiva que é inferior à força compressiva de AAC habitual na mesma quantidade de bolhas em comparação com o último no estado atual da técnica.

[086]Os inventores descobriram que os poros que apresentam raio de 0,004 μm a 10,0 μm são, na maioria das vezes, saturados por água antes da carbonação. Como a composição de silicato de cálcio carbonatável sofre carbonação, estes poros são eficazmente enchidos por precipitação de carbonato de cálcio. Os poros no volume da bolha que apresentam raio de 10,0 μm ou mais não são saturados por água antes da carbonação, assim, nestas bolhas, apenas os precipitados de carbonato de cálcio dentro da camada de água adsorvida. O volume da bolha também pode ser facilmente controlado pela dosagem do agente de formação de espuma (agente de aeração), por exemplo, metal alumínio. Além do controle do volume de bolhas de ar, é muito importante controlar a densificação da parte sólida que suporta as bolhas de ar (abaixo, também chamada a “matriz de ligação” ou, simplesmente,

a “matriz”). O controle eficaz do volume do poro afeta amplamente a força compressiva. Portanto, no AAC curado por carbonação, para obter a mesma força compressiva como aquela de um AAC habitual na mesma densidade seca absoluta, a desafio depende do aumento do volume da bolha, enquanto prevenindo uma queda na força compressiva e uma redução no volume do poro (em outras palavras, aumentando a carbonação, de modo a densificar as partes sólidas que suportam as bolhas de ar).

[087]Os presentes inventores se comprometeram nos experimentos nos exemplos seguintes e, como um resultado, demonstraram que no AAC curado por carbonação, se usando a composição de silicato de cálcio carbonatável (por exemplo, volastonita moída de ocorrência natural ou sintética) para reduzir a razão A/S em 0,45 ou menos e, além disso, na etapa de carbonação, em alguns casos, elevar a temperatura de 60 °C a 80 °C, elevar a umidade relativa RH de 65 % a 95 % ou prolongar o tempo de carbonação de 18 horas a 40 ou 48 horas, a força compressiva aumenta e confirmaram que foi possível produzir AAC curado por carbono com um volume de raio de 0,004 μm a 10,0 μm de poros na pluralidade de vácuos de 0,30 ml/material compósito 1 g ou menor e com uma força compressiva avaliada representada pela seguinte fórmula (1):

Força compressiva avaliada (densidade seca absoluta = 0,50) = força compressiva x (0,50 ÷ densidade seca absoluta)^2 de 2,0 N/mm^2 ou mais.

[088]Na presente forma de realização, preferivelmente, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,24 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada é 2,5 N/mm^2 ou maior, mais preferivelmente, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,19 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada é 3,7 N/mm^2 ou maior, ainda mais preferivelmente, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,17 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada é 4,5 N/mm^2 ou maior e, particular e preferivelmente, o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,15 ml/material compósito 1 g ou menor e a força

compressiva avaliada é 5,0 N/mm^2 ou maior.

EXEMPLOS

[089]Abaixo, a presente invenção será explicada por via de exemplos não limitantes.

Exemplo 1

[090]Em A/S = 0,45, Cimento Solidia (SC-L® Solidia Technologies, Piscataway, NJ, USA) 92,50 % em peso, cal 7,50 % em peso, um redutor de água (fabricado pela BASF, Glenium7500®, na tabela, descrito como “Glenium”) 0,400 % em peso, um retardador de hidratação inicial de cal constituído por sacarose 0,0378 % em peso, um agente de formação de espuma constituído por pó de alumínio (fabricado pela Yamato Metal Powder Co., Ltd., #87) 0,210 % em peso, um retardador de formação de espuma inicial de Al constituído por ácido fosfórico 1,0 % em peso (com respeito a Al) e água foram misturados por um misturador de escala de laboratório. Neste relatório, primeiro, o redutor de água, sacarose e cimento Solidia (SC-L®) foram adicionados a uma quantidade pré-determinada de água, depois, a mistura foi continuamente agitada durante cerca de 2,5 minutos para formar uma pasta fluida. Em seguida, cal foi adicionada a isto e agitada durante 30 segundos, formando uma pasta fluida uniforme e, depois, pó de alumínio que foi disperso em ácido fosfórico diluído antecipadamente 100 vezes e foi deixado em repouso durante pelo menos 1 hora foi adicionado à pasta fluida que depois foi agitada durante 30 segundos para preparar uma mistura úmida.

[091]Em seguida, a mistura úmida foi fundida em um molde até uma altura de cerca de metade do molde. Em seguida, a mistura úmida foi pré-curada durante cerca de 3 a 4 horas em uma temperatura de 70 °C e umidade de 95 % ou mais, de modo a preparar a mistura úmida expandida em volume e, simultaneamente, pré- endurecer. Em seguida, depois de obter dureza suficiente para remoção do molde, a mistura pré-curada expandida foi removida do molde. A mistura expandida pré-curada que foi removida foi colocada em uma câmara de cura por carbonação onde a mistura expandida pré-curada curada por carbonação em uma temperatura de 60 °C, umidade relativa de 65 % e concentração de

dióxido de carbono de 95 % em vol durante 18 horas para preparar o material compósito.

[092]Nos Exemplos 2 a 7 e Exemplo Comparativo 1, materiais compósitos foram preparados da mesma maneira do Exemplo 1, exceto para modificar as condições àquelas mostradas na seguinte Tabela 1. Além disso, nos Exemplos Comparativos 1 e 2, para o propósito de promover o aumento na dureza da mistura expandida no momento da pré-cura, DENKA CSA#20® fabricado pela Denki Kagaku Kogyo (na tabela, descrito como “CSA”) e gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) foram adicionados e misturados na direita depois de adicionar o cimento Solidia (SC-L®) . Além disso, nos Exemplo Comparativos 1 e 2 e Exemplos 4 a 7, como o estabilizador de bolha, um tensoativo (fabricado pela Kao Corporation, FR-14®, na tabela, descrito como “FR-14”) foi adicionado depois de adicionar o redutor de água, sacarose e cimento Solidia à água, depois agitação dos mesmos durante 1 minuto, depois a mistura foi ainda agitada durante 1,5 minuto para formar uma pasta fluida. Além disso, nos Exemplos 6 e 7, como os elementos de ligação, ao invés de volastonita sintética (SC-L®), volastonita de ocorrência natural (fabricada pela NYCO Minerals, NYAD400®) foi usada e ao invés de sacarose, glutamato de sódio foi adicionado.

Tabela 1

	SC-L (wt%)	NYAD 400 (wt%)	Cal (wt%)	CSA (wt%)	Gessso (wt%)	W/S	Glenium wt% para teor sólido	Sucrose wt% para teor sólido	Gliconato de sódio wt% para teor sólido	Al wt% para teor sólido	Ácido foafórico wt% para Al	FR-14 wt% para Al	Temp. de pré-cura (°C)	Condições de processo de carbonação
Ex. Comp. 1	83.71		7.50	7.29	1.50	0.63	0.075			0.13000		20.0	60°C	60°C RH65% 18 horas
Comp. Ex. 2	83.71		7.50	7.29	1.50	0.63	0.075			0.11375		20.0	60°C	60°C RH65% 18 horas
Ex. 1	92.50		7.50			0.45	0.400	0.0378		0.2100	1.0		70°C	60°C RH65% 18 horas
Ex. 2	92.50		7.50			0.45	0.075	0.0378		0.2100	1.0		70°C	80°C RH95% 18 horas
Ex. 3	92.50		7.50			0.45	0.075	0.0378		0.2100	1.0		70°C	80°C RH95% 40 horas
Ex. 4	92.50		7.50			0.40	1.000	0.0500		0.1300	1.0	20.0	70°C	60°C RH65% 18 horas
Ex. 5		96.0	4.00			0.35	1.250	0.0500		0.1300	1.0	20.0	70°C	80°C RH95% 48 horas
Ex. 6		96.0	4.00			0.45	0.250		0.10	0.1300		20.0	70°C	80°C RH75% 40 hours
Ex. 7		96.0	4.00			0.40	0.350		0.10	0.1300		20.0	70°C	80°C RH75% 40 horas

[093]As propriedades dos materiais compósitos, os quais são preparados nos Exemplos 1 a 7 e Exemplo Comparativo 1, são mostradas na seguinte Tabela 2.

Tabela 2

	Volume do poro por material de composição 1 g em raio 0,004 μm a 10,0 μm de região de poro (ml/g)	Densidade seca absoluta	Força compressi (N/mm^2)	Força compressiva avaliada (na densidade seca absoluta = 0,50 (N/mm^2)	Grau de carbonação (%)
Ex. Comp. 1	0.403	0.51	1.55	1.49	66.30
Ex. Comp. 2	0.398	0.50	1.49	1.46	67.77
Ex. 1	0.2468	0.510	2.32	2.22	67.2
Ex. 2	0.2356	0.579	3.52	2.62	67.2
Ex. 3	0.2217	0.564	3.58	2.81	81.3
Ex. 4	0.2097	0.552	3.74	3.07	69.0
Ex. 5	0.1808	0.670	6.91	3.85	74.2
Ex. 6	0.1605	0.581	6.30	4.66	83.0
Ex. 7	0.1419	0.588	7.65	5.48	78.5

[094]A FIG. 3 mostra a relação entre a densidade de secagem absoluta e força compressiva de AAC habitual e AAC curado por carbonação. Foi mostrado que no AAC curado por carbonação, por meio do uso de cimento Solidia (SC-L®) e redução da razão A/S para 0,45 ou menos e, além disso, na etapa de carbonação, elevação da temperatura de 60 °C a 80 °C, elevação da umidade relativa RH de 65 % a 95 %, ou prolongamento do tempo de carbonação de 18 horas a 40 ou 48 horas, a força compressiva aumenta e a força compressiva se aproxima daquela de AAC habitual. Neste relatório, a densidade de secagem absoluta (ρ) de uma amostra de medição de força compressiva foi calculada com base na seguinte fórmula:

Densidade seca absoluta $\rho = W2/((D/2)^2 \times \pi \times H/1000)$

(onde, W2 (g) é o peso quando a secagem de uma amostra depois da medição da força compressiva explicada mais tarde em um secador de convecção a 110 °C durante um mínimo de 4 dias até que o peso já não foi alterado, D (mm) é o diâmetro da amostra de medição de força compressiva e H (mm) é a altura da amostra de medição de força compressiva).

[095]Neste relatório, a força compressiva do material compósito é encontrada na seguinte

maneira. A partir da parte dos materiais compósitos, uma amostra de núcleo de um diâmetro 50 mmΦ x altura 60 mm foi tomada vertical à direção de espuma a partir da parte central na direção de espessura. Esta amostra foi seca em um secador de convecção a 45 °C durante 4 dias, depois ainda foi deixada em repouso a 20 °C em RH 65 % durante um mínimo de 10 dias até que o peso não foi mais modificado, de modo a ajustar o teor de água. Além disso, o diâmetro D (mm), altura H (mm) e peso W1 (g) da amostra depois do ajuste do teor de água foram medidos. Em seguida, um verificador universal foi usado para conduzir um teste de compressão em uma velocidade de carga de 0,3 mm/min e a força de ruptura A(N) foi medida. Além disso, o peso W2 (g) da amostra depois da medição da força compressiva foi medido. Neste momento, a força compressiva σ (N/mm^2) foi encontrada pela seguinte fórmula:

Força compressiva σ (N/mm^2) = $A/((D/2)^2 \times \pi)$

[096]Conforme respectivamente mostrado nas FIGs. 4 a 6, as mudanças da distribuição de tamanho do poro antes e depois da carbonação foram medidas em A/S = 0,45, 0,40 e 0,35. Como um resultado, foi mostrado que a mistura expandida antes da etapa de carbonação ou do material compósito carbonatado apresentou as seguintes regiões porosas:

[097]Região de Poro A: a região que apresenta 0,004 μm a 0,2 μm de raio de poro, isto é, os poros desta região são recém formados entre a pluralidade de elementos de ligação como um resultado do precursor de elemento de ligação sendo convertido em elementos de ligação por carbonação (o tamanho, de certa forma, se tornando maior do que o precursor, devido à formação da primeira camada e segunda camada).

[098]Região de Poro B: a região que apresenta 0,2 μm a 3,0 μm de raio de poro, isto é, os poros desta região ainda presentes antes da etapa de carbonação, vedados por água e enchidos com elementos de ligação, devido à carbonação ativa.

[099]Região de Poro C: a região que apresenta 3,0 μm a 10,0 μm de raio de poro, isto é, os poros desta região presentes antes da etapa de carbonação e não são vedados por água e enchidos com elementos de ligação, devido à carbonação apenas dentro da camada de

água adsorvida.

[100]Região da Bolha: a região que apresenta mais do que 10,0 μm de raio de poro, isto é, os poros desta região presentes antes da etapa de carbonação e não são vedados por água e enchidos com elementos de ligação, devido à carbonação apenas dentro da camada de água adsorvida, por exemplo, a região onde a produção pode ser controlada pelo agente de aeração de pó de alumínio.

[101]Nas FIGs. 4 a 6, o “volume do poro” significa a quantidade total de volume do poro na faixa de um raio de poro pré-determinado (por exemplo, raio de 0,004 μm a 10,0 μm) que é medido pelo método de intrusão de mercúrio. Neste relatório, o “método de intrusão de mercúrio” mensura a distribuição de diâmetro de poro a partir da relação entre a pressão de intrusão e quantidade de intrusão quando se pressiona mercúrio para o interior de um material poroso, tal como concreto aerado de peso leve, e é calculada assumindo que os poros apresentam forma cilíndrica. Nas FIGs. 4 a 6, a faixa mensurável do tamanho do poro foi de 0,004 μm a 80 μm, mas o valor de medição não é aquele que expressa o raio de poro real, mas é usado como um indicador que expressa o tamanho de espaços presentes entre os materiais componentes e é um meio extremamente eficaz para análise em mostrar a estrutura do poro de um material poroso, tal como concreto aerado de peso leve.

[102]Especificamente, nos exemplos acima e exemplos comparativos, a parte dos materiais compósitos foi triturada e dimensionada para obter uma parte de 2 a 4 mm. Isto foi seco a 105±5 °C até atingir um peso constante e se tornou um estado seco absoluto para o uso como uma amostra de medição. Esta amostra de medição foi medida para distribuição de tamanho do poro usando um “Pore Master-33®” fabricado pela Yuasa Ionics. Neste momento, o ângulo de contato do mercúrio e amostra foi 130° e a tensão de superfície do mercúrio foi calculada como 484 dyn/cm. Neste relatório, o volume do poro foi descoberto a partir da distribuição de tamanho do poro obtida como o volume do poro na faixa de um diâmetro de poro de 0,004 μm a 10,0 μm para uma massa unitária (1 g) dos sólidos da amostra de medição (quantidade de poro total).

[103]Conforme mostrado nas FIGs. 4 a 6, foi mostrado que com A/S = 0,45, 0,40 e 0,35, a carbonação causa uma diminuição na quantidade total de volume do poro na região de poro A, B e C, isto é, a região que apresenta um raio de poro de 0,004 μm a 10,0 μm e que esta região é uma região predominantemente carbonatada.

[104]Os presentes inventores, com base na descoberta de que por meio da diminuição da razão A/S em 0,45 ou menos e, na etapa de carbonação, elevação da temperatura de 60 °C a 80 °C, elevação da umidade relativa RH de 65 % a 95 % ou prolongamento do tempo de carbonação de 18 horas a 40 ou 48 horas, a força compressiva é aumentada, estudada a relação do volume do poro por material compósito 1 g da região porosa principalmente carbonatado da “região que apresenta um raio de poro de 0,004 μm a 10,0 μm”, grau de carbonação e força compressiva.

[105]A FIG. 7 é um gráfico que mostra a relação entre o grau de carbonação de AAC curado por carbonação e o volume do poro por material compósito 1 g do raio de 0,004 μm a 10,0 μm da região de poro. A partir da FIG. 7, foi confirmado que no AAC curado por carbonação com um volume por material compósito 1 g da “região que apresenta um raio de poro de 0,004 μm a 10,0 μm” menor do que 0,30 ml/material compósito 1 g, por meio da elevação da temperatura de 60 °C a 80 °C, elevação da umidade relativa RH de 65 % a 95 % ou prolongamento do tempo de carbonação de 18 horas a 40 ou 48 horas, o grau de carbonação é aumentado.

[106]Neste relatório, o “grau de carbonação” significa a razão do componente de cálcio que realmente reage com o dióxido de carbono no material compósito e está presente no material compósito como carbonato de cálcio para o componente de cálcio total que pode reagir com dióxido de carbono. A quantidade do componente de cálcio que realmente reage com o dióxido de carbono no material compósito e está presente no material compósito como carbonato de cálcio pode ser medida como a quantidade de gás (V) de dióxido de carbono que é produzido quando se dissolve o material compósito em ácido. Por outro lado, a quantidade do componente de cálcio total que pode reagir com o dióxido de carbono pode

ser obtida moendo o compósito, depois calculando o teor de CaO no compósito por análise de raios X fluorescente pelo método de esfera de vidro, depois calculando a quantidade de gás CO_2 (v) de uma quantidade molar equivalente com isto. Especificamente, “v” é a quantidade de gás (ml) que é obtida por meio da secagem do compósito a 105 °C durante 24 horas, depois moagem do mesmo, medindo precisamente 100 a 500 mg como uma amostra, depois dissolvendo o mesmo em uma solução aquosa de ácido clorídrico 5N, medindo a quantidade de gás dióxido de carbono gerado, e convertendo isto em 1 g da amostra. Além disso, V é calculado por meio da medição do teor de CaO no compósito por análise de raios X fluorescente pelo método de esfera de vidro, depois descoberta da quantidade (V) de gás CO_2 de uma quantidade molar equivalente a isto pela seguinte fórmula:

V (ml) = teor de CaO (% em peso) x 22400/(100 x 56).

[107]Neste caso, o grau de carbonação (%) é expressado pela seguinte fórmula:

Grau de carbonação (%) = (v/V) x 100

[108]A FIG. 8 é um gráfico que mostra a relação entre o volume do poro por material compósito 1 g do raio 0,004 μm a 10,0 μm da região de poro e a força compressiva avaliada em uma densidade seca absoluta de 0,50 no AAC curado por carbonação dos exemplos, de acordo com a presente invenção. Neste relatório, a força compressiva avaliada em uma densidade seca absoluta de 0,50 representada pela seguinte fórmula:

[109]Força compressiva avaliada (densidade seca absoluta = 0,50) = força compressiva x (0,50 ÷ densidade seca absoluta)^2 para padronizar o efeito sobre a força compressiva da mudança da quantidade de bolhas de ar no material compósito 1 g, isto é, o volume da região de bolha e avaliar o efeito sobre a força compressiva apenas do volume por material compósito 1 g da “região que apresenta um raio de poro de 0,004 μm a 10,0 μm”.

[110]A partir da FIG. 8, foi mostrado que se o volume da região de poro da “região que apresenta um raio de poro de 0,004 μm a 10,0 μm” por material compósito 1 g é 0,30 ml/material compósito 1 g ou menor, a força compressiva avaliada se torna 2,0 N/mm^2 ou

maior. Em particular, foi mostrado que junto com a diminuição no volume do poro, a força compressiva avaliada se aproximou de 5,0 N/mm^2.

[111]A partir dos resultados acima, foi mostrado que no AAC curado por carbonação, por meio do uso de cimento Solidia (SC-L®) ou volastonita de ocorrência natural moída (NYAD400®) e redução da razão A/S para 0,45 ou menos e, também, elevação da temperatura na etapa de carbonação a partir de 60 °C a 80 °C, elevação da umidade relativa RH a partir de 65 % a 95 % ou prolongamento do tempo de carbonação a partir de 18 horas a 40 ou 48 horas, é possível produzir AAC curado por carbonação, onde o grau de carbonação aumenta na região do poro da “região que apresenta um raio de poro de 0,004 μm a 10,0 μm” e o volume do poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm na pluralidade de vácuos é de 0,30 ml/material compósito 1 g ou menor e a força compressiva avaliada de 2,0 N/mm^2 ou maior, preferivelmente, se o volume do poro é 0,24 ml/material compósito 1 g ou menor, a força compressiva avaliada é de 2,5 N/mm^2 ou maior, mais preferivelmente, se o volume do poro é 0,19 ml/material compósito 1 g ou menor, a força compressiva avaliada é de 3,7 N/mm^2 ou maior, ainda mais preferivelmente, se o volume do poro é 0,17 ml/material compósito 1 g ou menor, a força compressiva avaliada é de 4,5 N/mm^2 ou maior e, particular e preferivelmente, se o volume do poro é de 0,15 ml/material compósito 1 g ou menor, a força compressiva avaliada é de 5,0 N/mm^2 ou maior.

[112]O fato de que várias revisões e mudanças podem ser feitas na presente invenção sem divergir do espírito ou escopo da invenção será evidente às pessoas habilitadas na técnica. Portanto, a presente invenção inclui tais revisões e modificações, contanto que dentro do escopo das reivindicações anexas e seus equivalentes.

[113]O material compósito, de acordo com a presente invenção, é AAC curado por carbonação que apresenta uma força compressiva substancialmente igual àquela de AAC habitual, assim, evita os problemas de carbonação em AAC habitual, realizando uma força substancialmente igual à força de AAC habitual e, portanto, pode ser adequadamente usado como um material de construção.

[114]Neste relatório descritivo e nas reivindicações anexas, as formas no singular “um”, “uma” e “o”, “a” incluem a referência no plural, a menos que o contexto claramente indique de outro modo.

[115]A menos que de outro modo definido, todos os termos técnicos e científicos usados neste relatório apresentam o mesmo significado, conforme comumente entendido por uma pessoa de habilidade comum na técnica. Embora quaisquer métodos e materiais similares ou equivalentes àqueles descritos neste relatório também possam ser usados na prática ou teste da presente divulgação, os métodos e materiais preferidos são agora descritos.

[116]Os métodos citados neste relatório podem ser realizados em qualquer ordem que seja logicamente possível, além de uma ordem particular divulgada.

INCORPORAÇÃO COMO REFERÊNCIA

[117]Referências e citações a outros documentos, tais como patentes, pedidos de patente, publicações de patente, jornais, livros, documentos, conteúdos da web, foram feitas nesta divulgação. Todos os tais documentos são integralmente incorporados neste relatório como referência para todos os propósitos. Qualquer material, ou parte do mesmo, que deve ser incorporado como referência neste relatório, mas que conflita com definições, declarações ou outro material de divulgação existente explicitamente apresentados neste relatório só é incorporado na medida que não existe conflito entre tal material incorporado e o presente material de divulgação. No evento de um conflito, o conflito deve ser resolvido a favor da presente divulgação como a divulgação preferida.

EQUIVALENTES

[118]Os exemplos representativos divulgados neste relatório são intencionados a ilustrar a invenção e não são intencionados a, nem devem ser interpretados para limitar o escopo da invenção. De fato, várias modificações da invenção e muitas formas de realização adicionais das mesmas, além daquelas mostradas e descritas neste relatório, tornar-se-ão evidentes àqueles habilitados na técnica a partir dos conteúdos integrais deste documento, incluindo os exemplos que seguem e as referências à literatura científica e de patente citada neste

relatório. Os seguintes exemplos contêm informação, exemplificação e guia adicionais importantes que podem ser adaptados à prática desta invenção em suas várias formas de realização e equivalentes da mesma.

Reivindicações

1. Material compósito, compreendendo:

uma pluralidade de elementos de ligação, cada um incluindo um núcleo compreendendo silicato de cálcio, uma primeira camada que circunda parcial ou completamente o núcleo e é rica em SiO_2, e uma segunda camada que circunda parcial ou completamente a primeira camada e é rica em $CaCO_3$;

uma pluralidade de partículas enchedoras que apresentam tamanhos de partícula de 0,1 μm a 1000 μm;

uma pluralidade de vácuos na forma de bolha e/ou canais interconectados;

caracterizado por a pluralidade de elementos de ligação e pluralidade de partículas enchedoras juntas formam uma matriz de ligação e são igualmente dispersas na matriz e ligadas, um volume de poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm na pluralidade de vácuos sendo 0,30 ml/1 g de material compósito ou menos, como determinado por um método de intrusão de mercúrio, e

o material compósito tendo uma força compressiva avaliada a uma densidade seca absoluta de 0,50 g/cm^3, a força compressiva avaliada expressada pela seguinte fórmula (1):

força compressiva avaliada (densidade seca absoluta = 0,50) = força compressiva medida x (0,50 ÷ densidade seca absoluta)^2, é 2,0 N/mm^2 ou mais.

2. Material compósito, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o volume de poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,24 ml/1g de material compósito ou menos e a força compressiva avaliada é 2,5 N/mm^2 ou mais.

3. Material compósito, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado por** o volume de poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,19 ml/1g de material compósito ou menos e a força compressiva avaliada é

3,7 N/mm² ou mais.

4. Material compósito, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 3, **caracterizado por** o volume de poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,17 ml/1g de material compósito ou menos e a força compressiva avaliada é 4,5 N/mm^2 ou mais.

5. Material compósito, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, **caracterizado por** o volume de poro com um raio de 0,004 μm a 10,0 μm no material compósito é 0,15 ml/1g de material compósito ou menos e a força compressiva avaliada é 5,0 N/mm^2 ou mais.

6. Material compósito, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, **caracterizado por** as partículas enchedoras são um material rico em CaO.

7. Material compósito, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 6, **caracterizado por** as partículas enchedoras são selecionadas a partir do grupo que consiste de cal e quartzo.

8. Material compósito, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, **caracterizado por** as partículas enchedoras são selecionadas a partir do grupo que consiste de resíduo industrial, cal, escória e sílica fumê.

9. Processo de produção de um material compósito, conforme descrito na reivindicação 1, **caracterizado por** compreender as seguintes etapas:

formar uma mistura úmida, em que a mistura úmida compreende água, partículas enchedoras compreendendo CaO ou Si que apresentam um tamanho médio de partícula de 0,1 μm a 1000 μm, partículas de silicato de cálcio moído e um agente de aeração que apresenta uma razão água/sólido (A/S) de 0,45 ou menos;

fundir a mistura úmida em um molde;

permitir que o agente de aeração possa gerar gás hidrogênio, desse modo, causando expansão do volume da mistura úmida;

pré-curar a mistura expandida obtida em uma dureza que permite que

a mesma seja removida do molde e movida;

cortar a mistura expandida pré-curada obtida em uma forma de produto desejada; e

fazer com que a mistura expandida cortada seja curada na pressão habitual, 60 °C ou mais de temperatura, uma umidade relativa de 65 % ou mais e uma atmosfera de uma concentração de gás CO_2 de 95 % durante 6 horas a 60 horas.

10. Processo, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** as partículas de silicato de cálcio moído compreendem um ou mais entre um grupo de fases de silicato de cálcio selecionadas a partir de CS (volastonita ou pseudovolastonita), C3S2 (ranquinita), C2S (belita, larnita, bredigita), uma fase de silicato de cálcio amorfa, cada material compreende opcionalmente um ou mais íons ou óxidos metálicos ou combinações dos mesmos.

11. Processo, de acordo com a reivindicação 9 ou 10, **caracterizado por** a temperatura na etapa de carbonação é 80 °C ou mais.

12. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 9 a 11, **caracterizado por** a umidade relativa na etapa de carbonação é 95 % ou mais.

13. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 9 a 12, **caracterizado por** o tempo na etapa de carbonação é 40 horas ou mais.

14. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 13, **caracterizado por** o agente de aeração é um pó que inclui pelo menos um entre alumínio, ferro, carbonato de cálcio e combinações dos mesmos.

FIG. 1

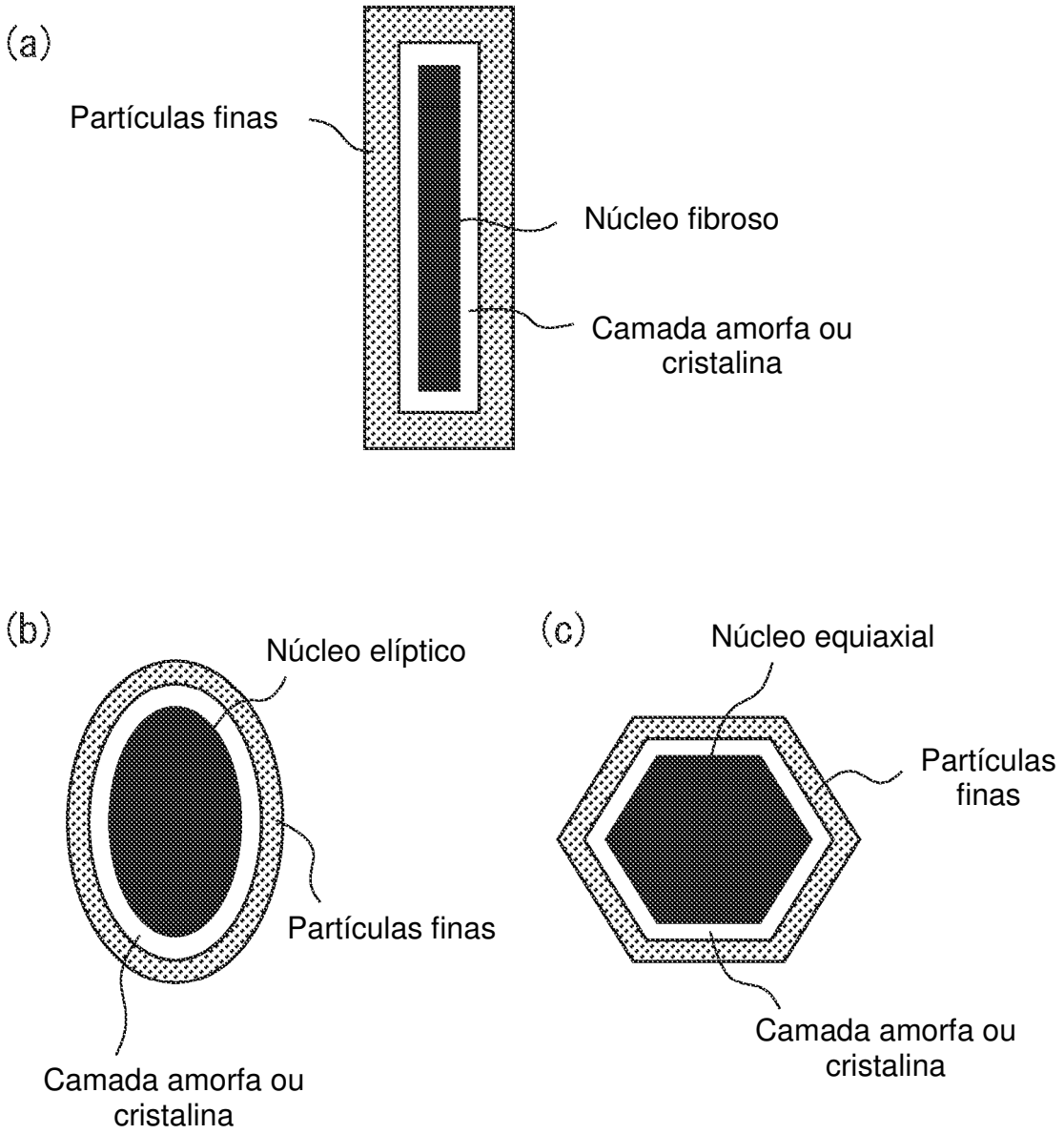

(a)
Partículas finas
Núcleo fibroso
Camada amorfa ou cristalina
(b)
Núcleo elíptico
Partículas finas
Camada amorfa ou cristalina
(c)
Núcleo equiaxial
Partículas finas
Camada amorfa ou cristalina

FIG. 2-1

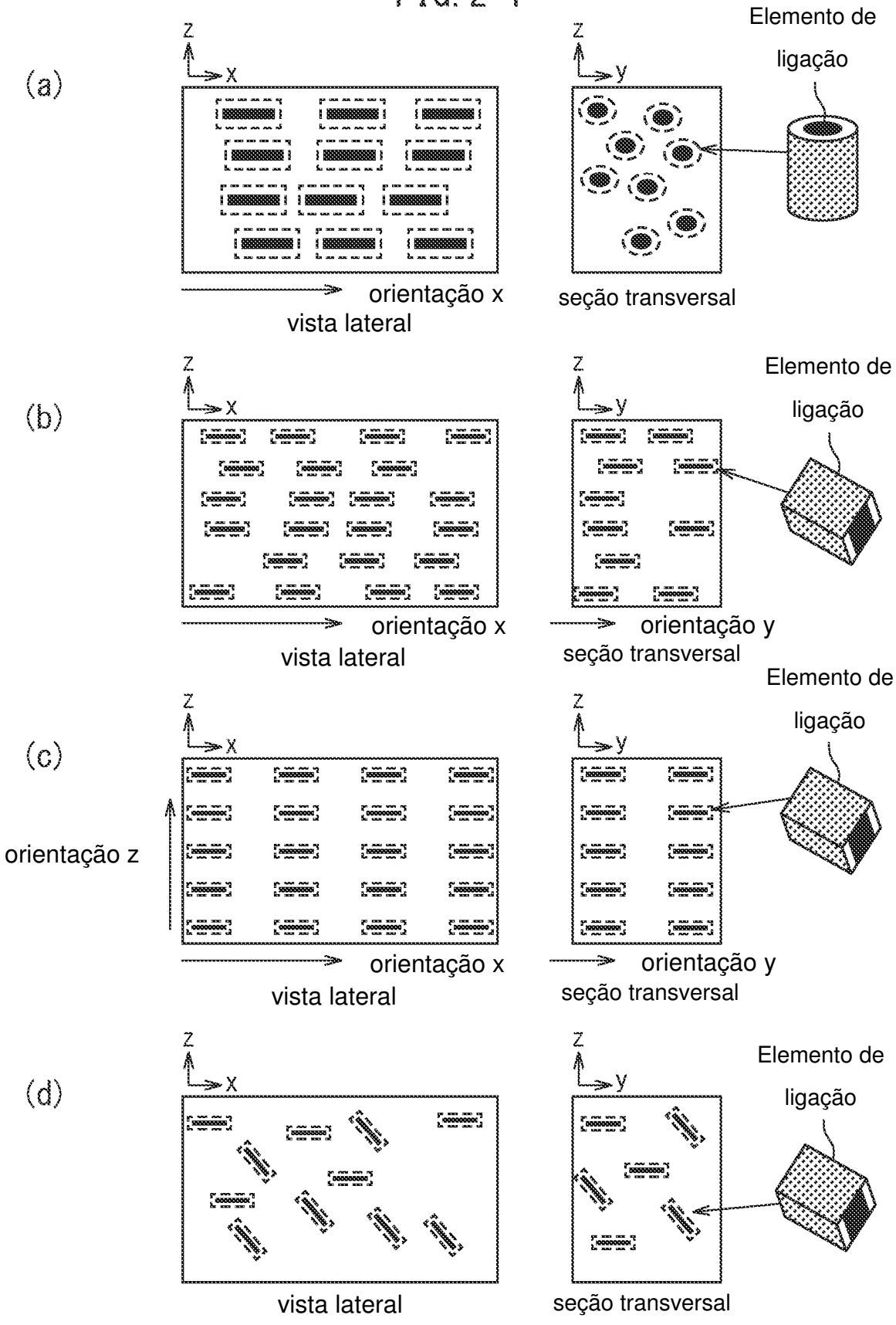
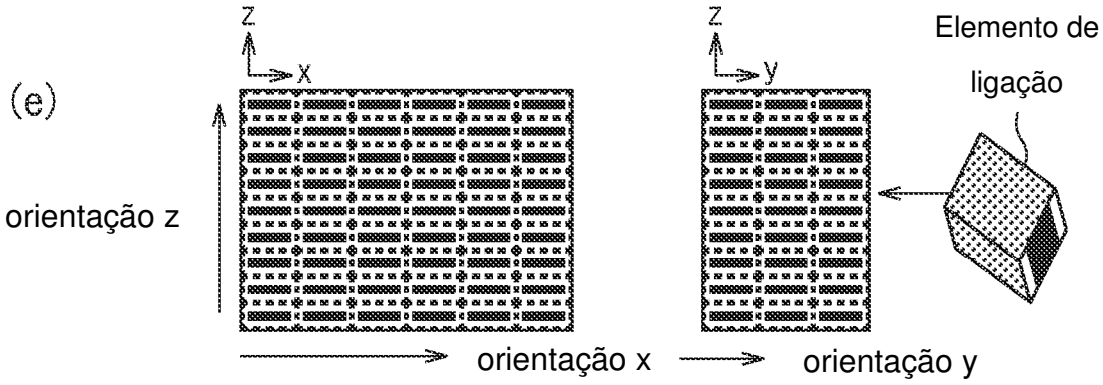

(a)
z
x
orientação x
vista lateral
z
y
Elemento de ligação
seção transversal
(b)
z
x
orientação x
vista lateral
z
y
Elemento de ligação
orientação y
seção transversal
(c)
orientação z
z
x
orientação x
vista lateral
z
y
Elemento de ligação
orientação y
seção transversal
(d)
z
x
vista lateral
z
y
Elemento de ligação
seção transversal

FIG. 2-2


(e)
orientação z
z
x
z
y
Elemento de ligação
orientação x
orientação y

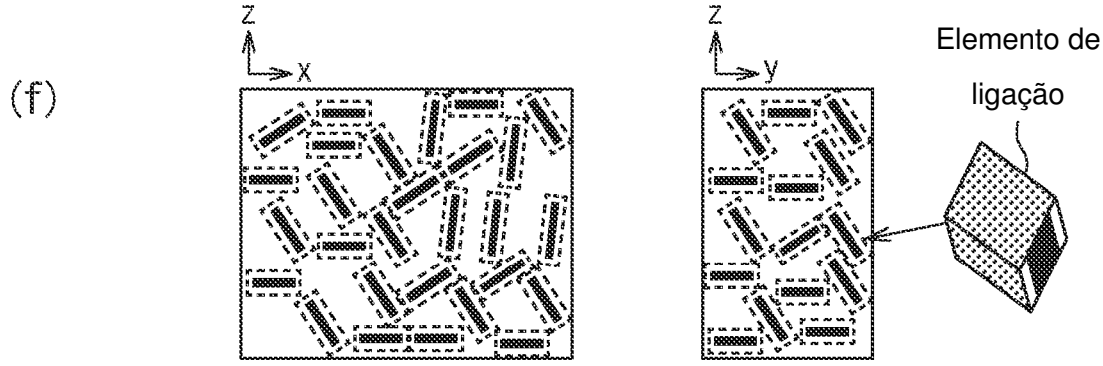

(f)
z
x
z
y
Elemento de ligação

FIG. 3

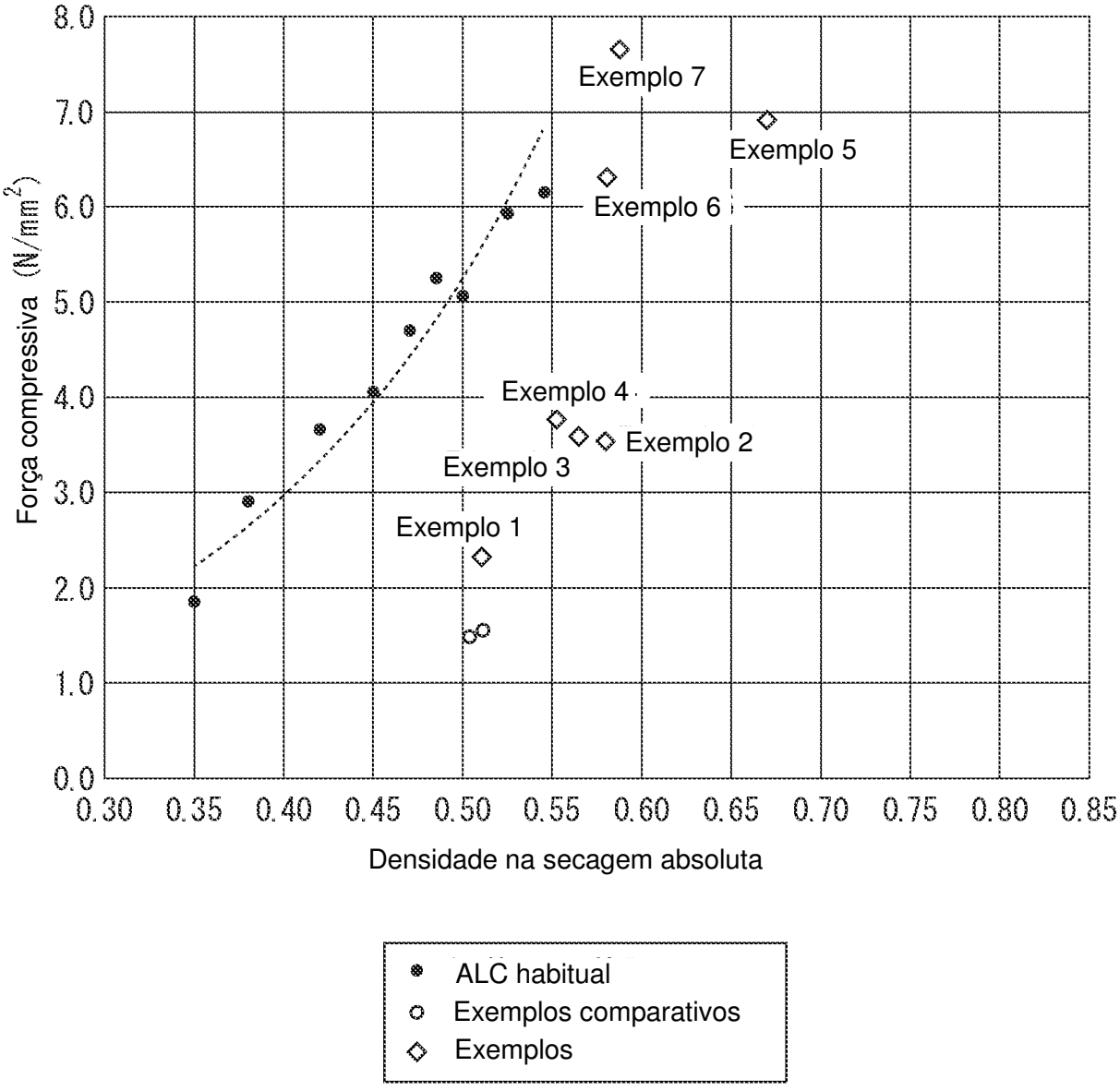

8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Força compressiva (N/mm²)
0.30
0.35
0.40
0.45
0.50
0.55
0.60
0.65
0.70
0.75
0.80
0.85
Densidade na secagem absoluta
Exemplo 7
Exemplo 5
Exemplo 6
Exemplo 4
Exemplo 2
Exemplo 3
Exemplo 1
ALC habitual
Exemplos comparativos
Exemplos

FIG. 4

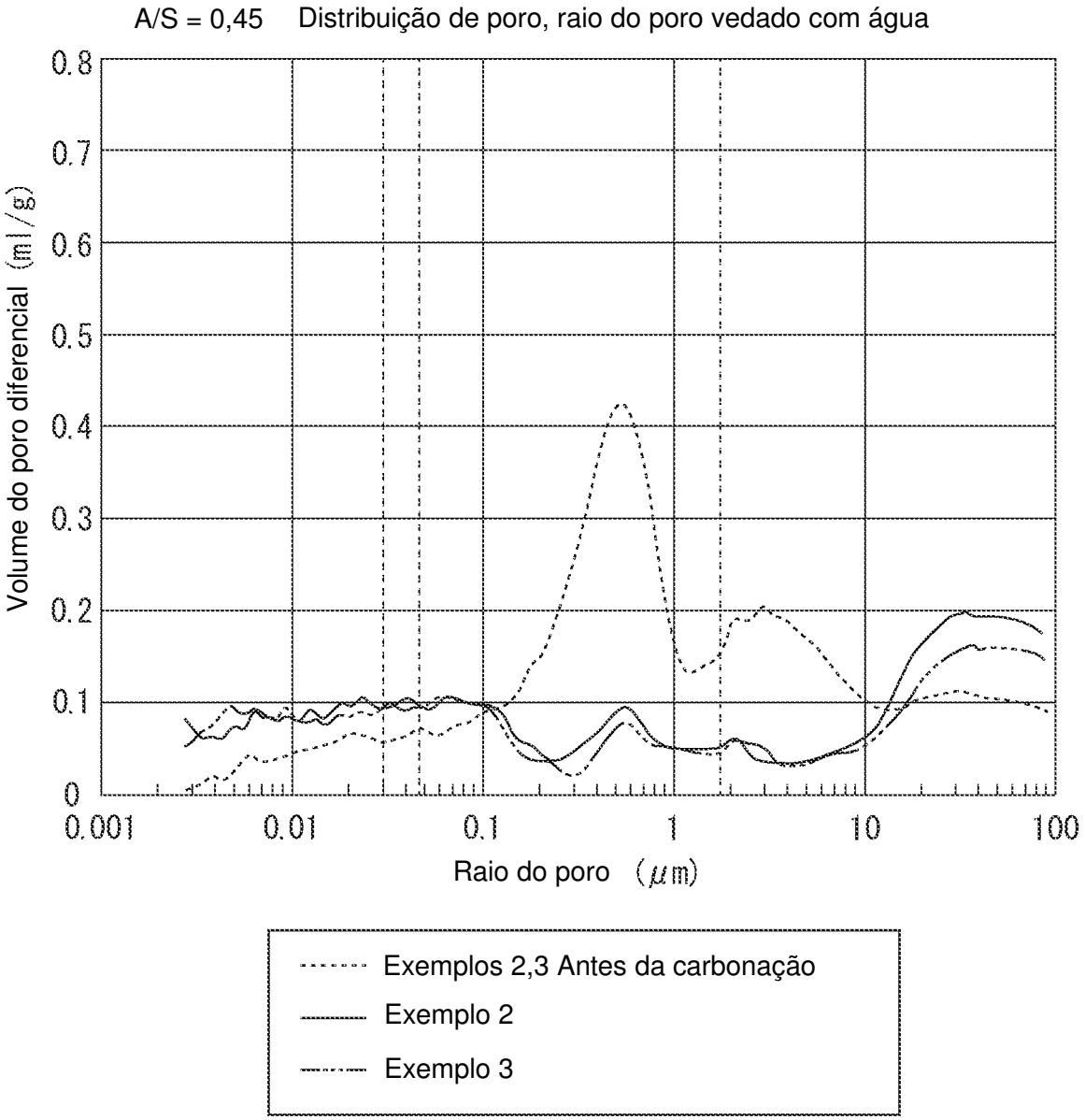

A/S = 0,45 Distribuição de poro, raio do poro vedado com água
Volume do poro diferencial (ml/g)
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Raio do poro (μm)
Exemplos 2,3 Antes da carbonação
Exemplo 2
Exemplo 3

FIG. 5

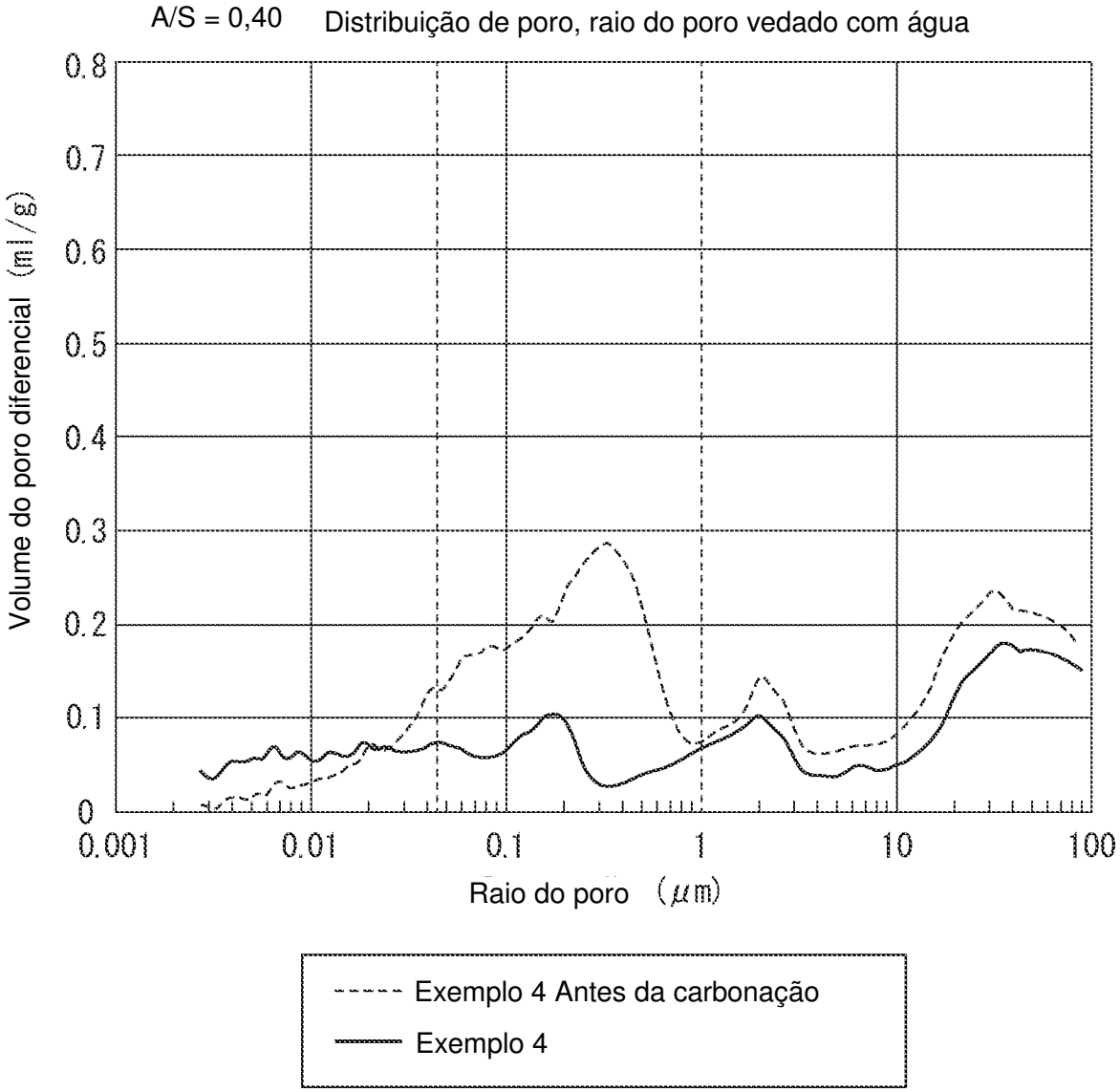

A/S = 0,40
Distribuição de poro, raio do poro vedado com água
Volume do poro diferencial (ml/g)
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Raio do poro (μm)
Exemplo 4 Antes da carbonação
Exemplo 4

FIG. 6

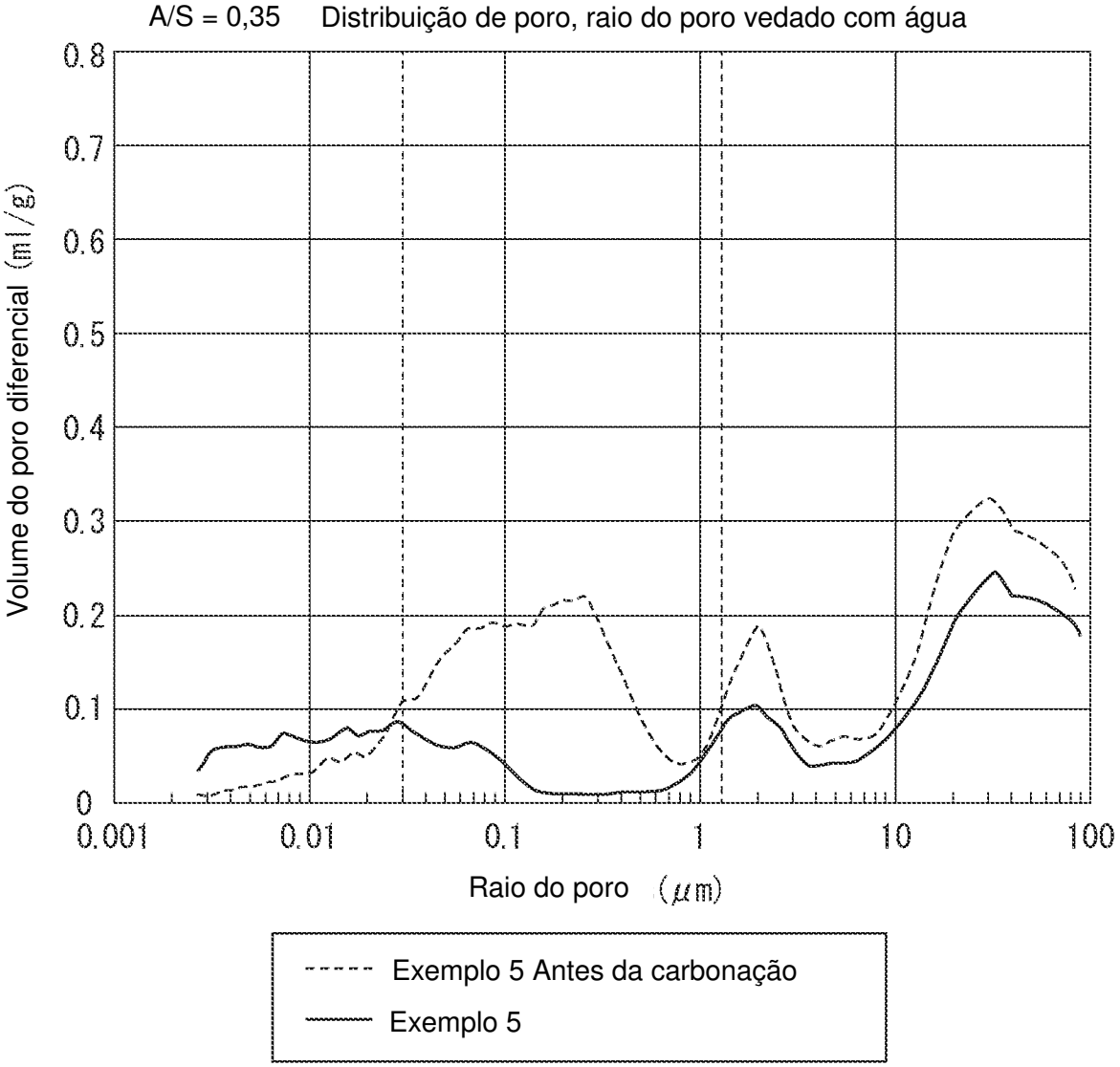

A/S = 0,35 Distribuição de poro, raio do poro vedado com água
Volume do poro diferencial (ml/g)
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.001
0.01
0.1
1
10
100
Raio do poro (μm)
Exemplo 5 Antes da carbonação
Exemplo 5

FIG. 7

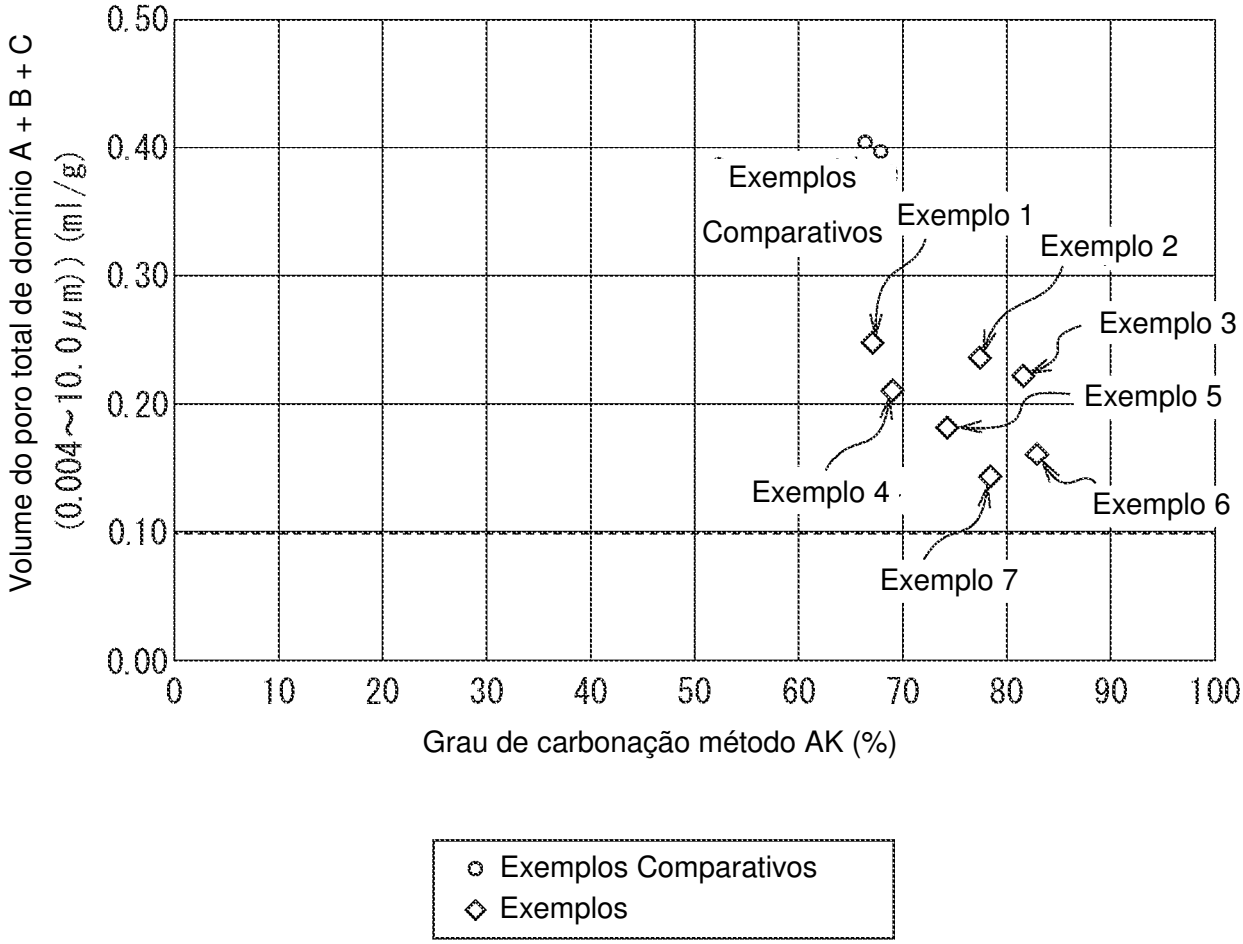

Volume do poro total de domínio A + B + C
(0.004~10.0μm)) (ml/g)
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Grau de carbonação método AK (%)
Exemplos
Comparativos
Exemplo 1
Exemplo 2
Exemplo 3
Exemplo 5
Exemplo 4
Exemplo 6
Exemplo 7
Exemplos Comparativos
Exemplos

FIG. 8

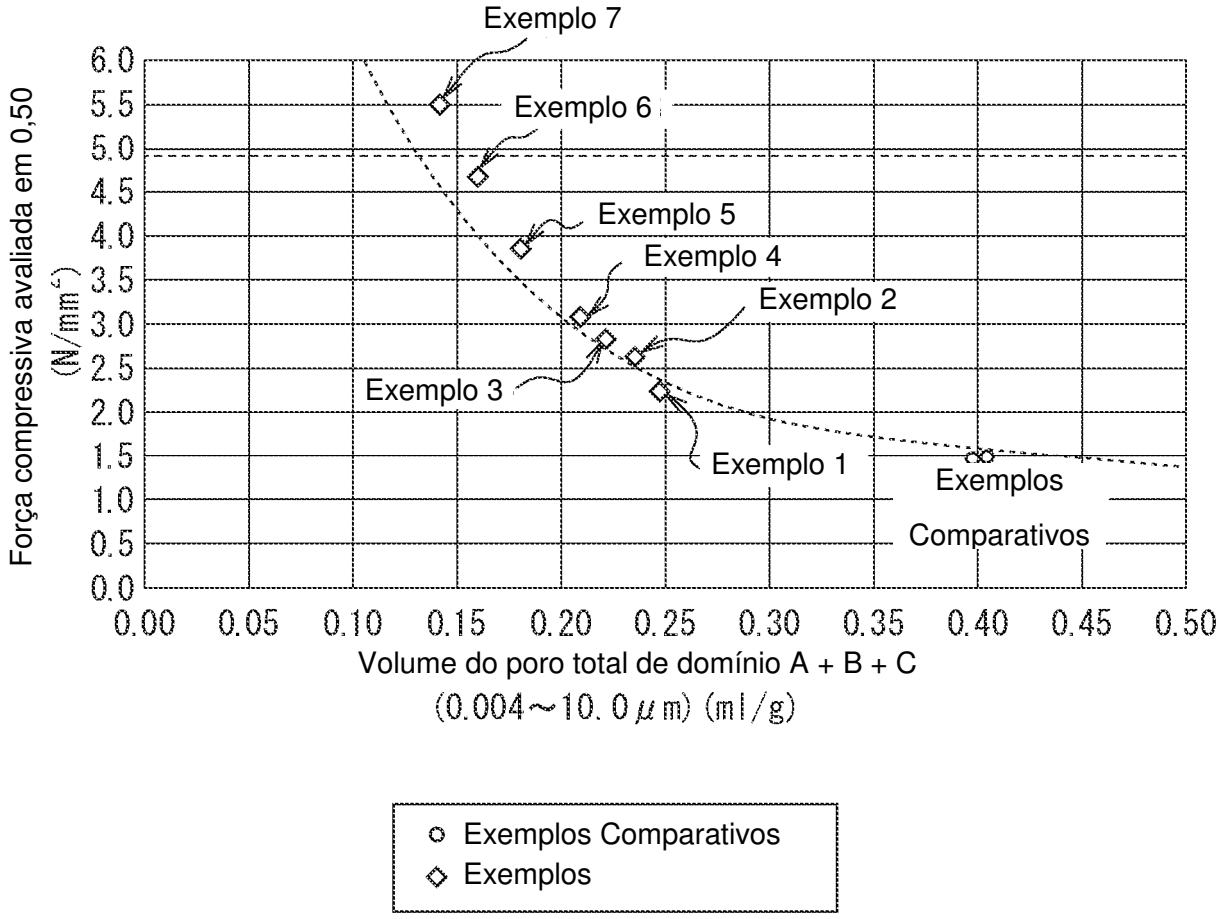

Exemplo 7
Exemplo 6
Exemplo 5
Exemplo 4
Exemplo 2
Exemplo 3
Exemplo 1
Exemplos
Comparativos
Força compressiva avaliada em 0,50 (N/mm²)
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
0.00 0.05 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 0.45 0.50
Volume do poro total de domínio A + B + C
(0.004～10.0μm) (ml/g)
Exemplos Comparativos
Exemplos

FIG. 9

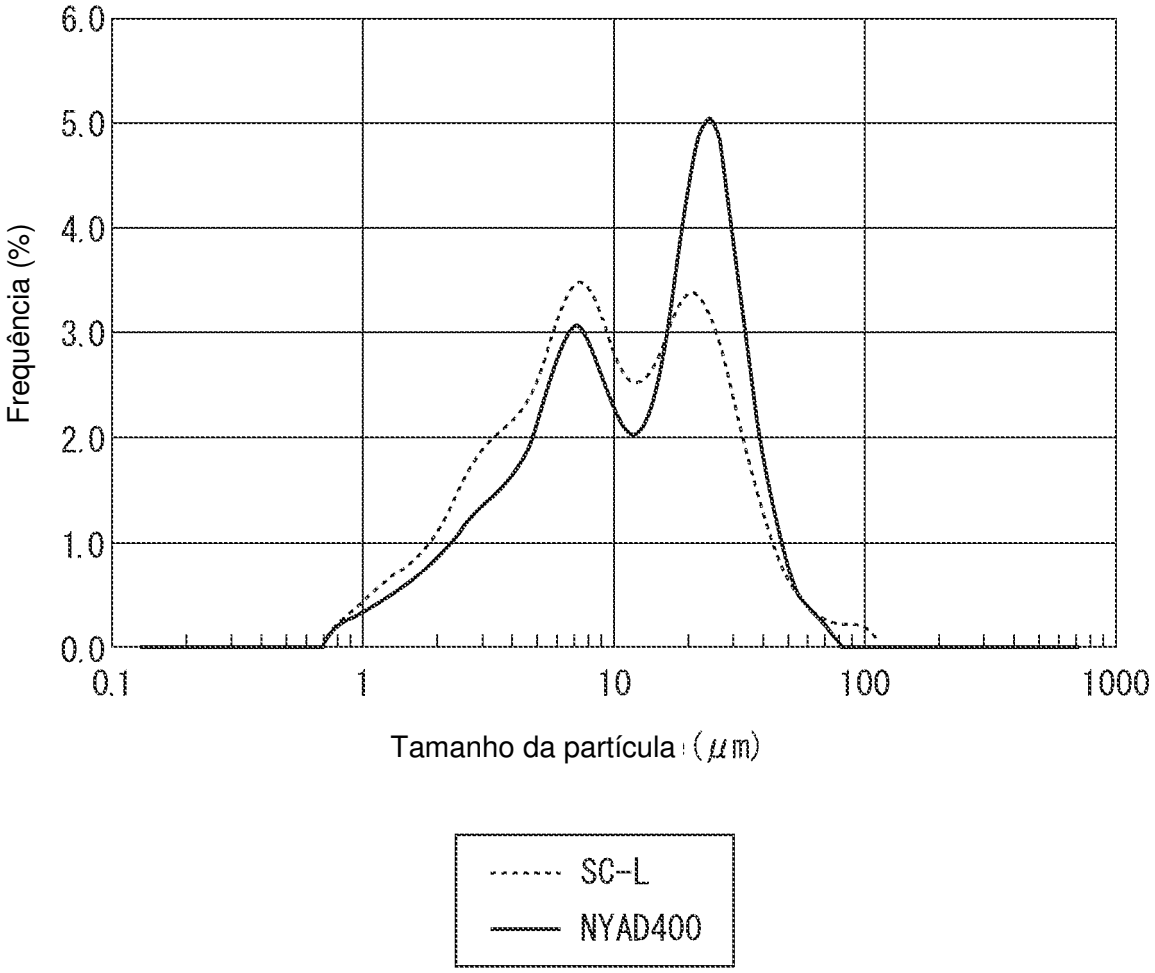

6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Frequência (%)
0.1
1
10
100
1000
Tamanho da partícula (μm)
SC-L
NYAD400

FIG. 10

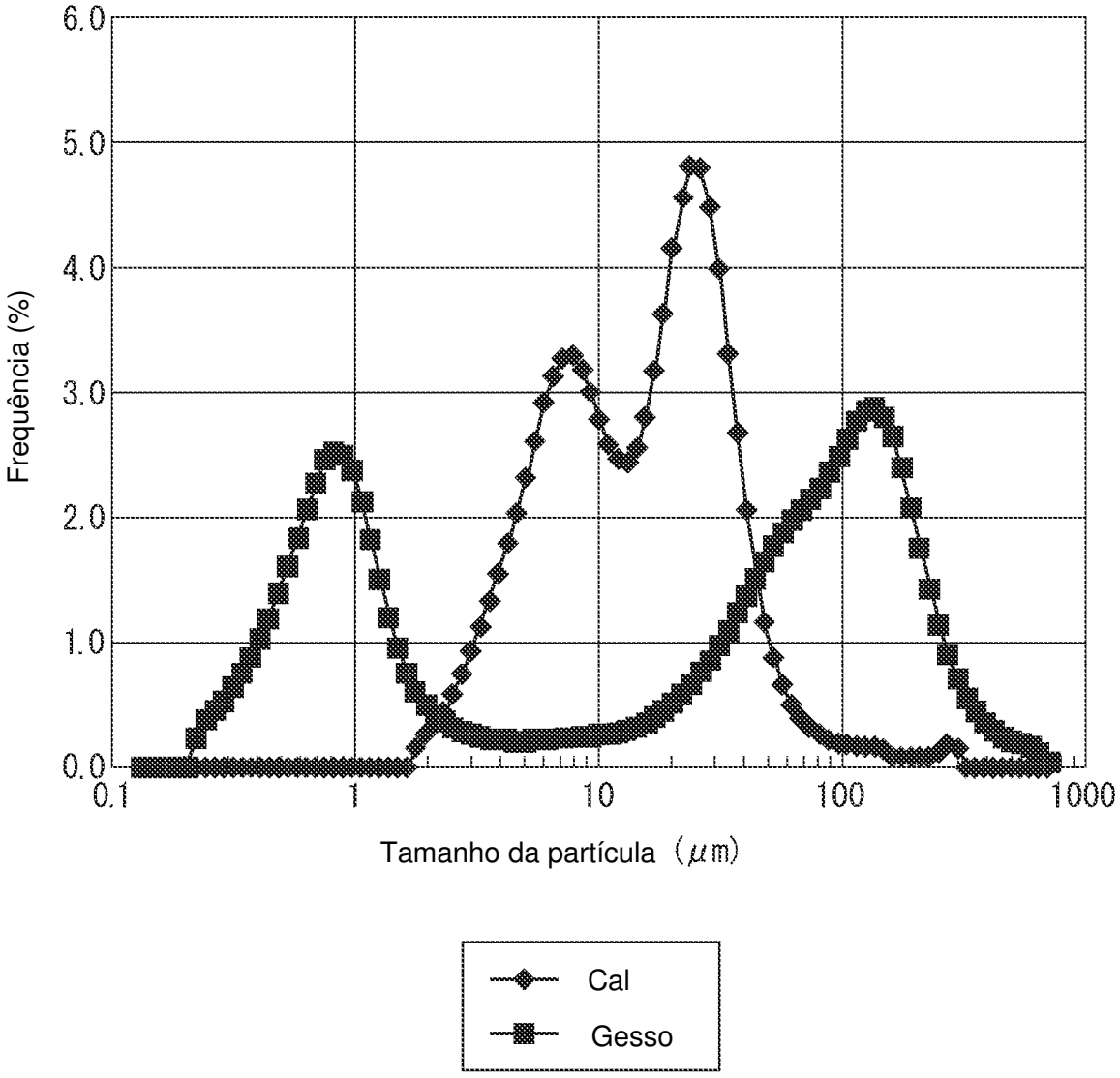
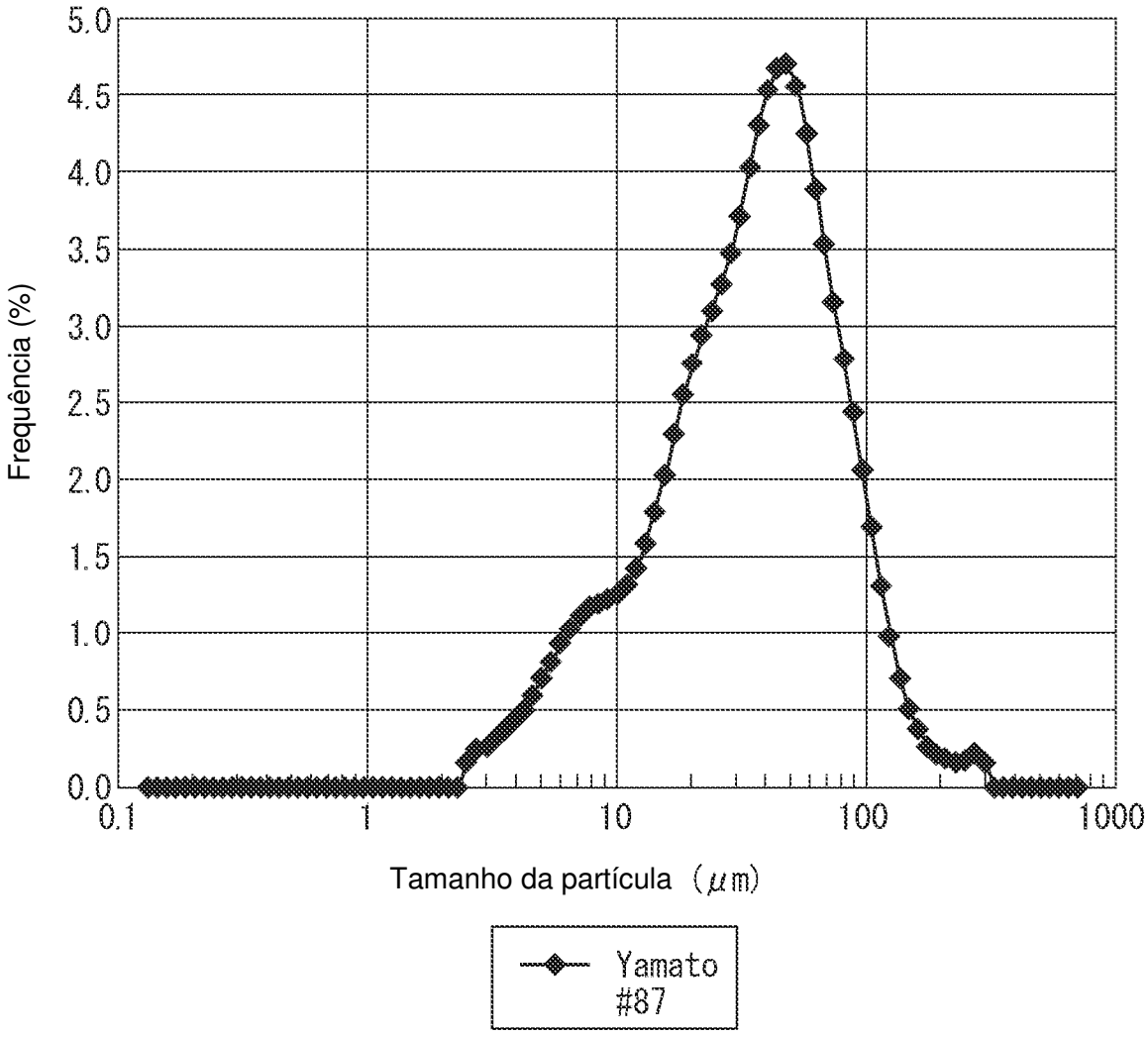

6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
Frequência (%)
0.1
1
10
100
1000
Tamanho da partícula (μm)
Cal
Gesso

FIG. 11


5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Frequência (%)
0.1
1
10
100
1000
Tamanho da partícula (μm)
Yamato
#87