



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

(21) BR 102020007389-3 A2



(22) Data do Depósito: 14/04/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 26/10/2021

(54) **Título:** CERÂMICA BALÍSTICA DE ALUMINA COM ADIÇÃO DE NITRETO DE SILÍCIO, PROCESSO DE OBTENÇÃO, COMPOSIÇÃO E USO DA MESMA

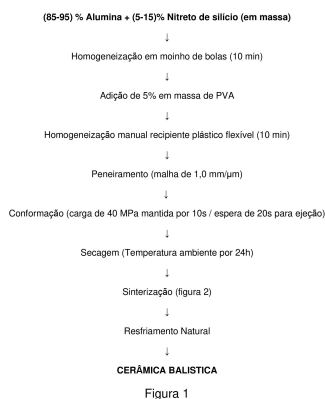
(51) **Int. Cl.:** C04B 35/10; C04B 35/634.

(52) **CPC:** C04B 35/10; C04B 35/63416; C04B 2235/3873; C04B 2235/668; C04B 2235/96; (...).

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) **Inventor(es):** ALEXANDER BRAUN DRESCH; JANIO VENTURINI JUNIOR; CARLOS PÉREZ BERGMANN.

(57) **Resumo:** CERÂMICA BALÍSTICA DE ALUMINA COM ADIÇÃO DE NITRETO DE SILÍCIO, PROCESSO DE OBTENÇÃO, COMPOSIÇÃO E USO DA MESMA. A presente invenção descreve o processo e os materiais empregados para a produção de uma cerâmica balística com uma relação resistência/densidade superior a cerâmica convencional de alumina utilizada para blindagens. A presente invenção se situa nos campos de engenharia de materiais, balística e militar.



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

CERÂMICA BALÍSTICA DE ALUMINA COM ADIÇÃO DE NITRETO DE SILÍCIO, PROCESSO DE OBTENÇÃO, COMPOSIÇÃO E USO DA MESMA

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve o processo e os materiais empregados para a produção de uma cerâmica balística com uma relação resistência/densidade superior a cerâmica convencional de alumina utilizada para blindagens. A presente invenção se situa nos campos de engenharia de materiais, balística e militar.

Antecedentes da Invenção

[0002] A alumina é a cerâmica mais comumente usada para blindagens balísticas, possuindo uma excelente relação custo-benefício. Entretanto, sua densidade relativamente alta, acaba incorporando maior peso à blindagem balística, diminuindo a mobilidade do usuário.

[0003] Por outro lado, uma cerâmica com características interessantes para aplicações de blindagem balística é o nitreto de silício. Este composto apresenta propriedades singulares, como alta resistência mecânica, elevada dureza, baixa densidade, resistência ao choque térmico. Além disso, sua microestrutura promove o surgimento de mecanismo tenacificadores.

[0004] Considerando que um dos principais fatores limitantes das blindagens balísticas é o seu peso, dessa forma, o desenvolvimento de novos materiais é fortemente focado na redução do peso sem perder desempenho ou diminuição da proteção. As pesadas proteções balísticas usadas pelos agentes de segurança e pelos militares sacrificam sua mobilidade, o que muitas vezes pode ter consequências terríveis durante as operações.

[0005] O uso de proteções balísticas pesadas também pode alterar os padrões de movimento do usuário, causando estresse nas articulações e aumentando o risco de danos osteomusculares que podem causar

consequências a longo prazo à saúde. Dessa forma, o desenvolvimento de novos materiais que possibilitem uma melhor eficiência no desempenho da cerâmica balística é de suma importância

[0006] O impacto balístico causa efeitos complexos em armaduras cerâmicas. A forte carga gera compressão no ponto de impacto e tração na face oposta, através da propagação de ondas de choque, além de tensões de compressão e cisalhamento ao longo da espessura e tensões de tração e cisalhamento perpendiculares à direção da espessura. Além disso, as fissuras à flexão que emanam do ponto de impacto são uma indicação de que a fratura nos corpos cerâmicos é governada por tensões de flexão.

[0007] Muitos estudos buscam determinar uma taxa de desempenho das cerâmicas devido à sua eficiência de peso e espessura. A dureza, resistência à flexão e tenacidade à fratura, são propriedades importantes quando considerado em aplicações como de cerâmicas balísticas. Assim sendo, cerâmicas com valores de dureza acima de 10 GPa e grande resistência à flexão são excelentes para aplicações balísticas.

[0008] Dessa forma, a cerâmica balística de alumina com nitreto de silício, por apresentar uma excelente relação de resistência/peso, pode ser empregada na indústria como substituta da cerâmica balística de alumina em coletes balísticos classe III e IV, conforme classificação da ABNT NBR 1500/2005.

[0009] Em outros aspectos, a cerâmica balística de alumina com adição de nitreto de silício pode ser empregada como blindagem em veículos militares, proporcionando uma melhor relação peso/potência.

[00010] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[00011] I. Crouch, Defence Technology, v. 15, 241-253, 2019; cita que as pesadas proteções balísticas sacrificam a mobilidade e podem gerar consequências terríveis nas operações.

- [00012]** B. Larsen, K. Netto, B. Aisbett, *Military Medicine*, v.11, 1265-1273, 2011; espõem as alterações nos padrões de movimento causadas por pesadas proteções balísticas, causando vários riscos a saúde.
- [00013]** B. Sigh, G. Sukumar, P. Senthil et al., *Defense Science Journal*, v. 67, 412-419, 2017; cita que o grande fator limitante das blindagens é seu peso, sendo necessário o desenvolvimento de novos materiais com melhor relação peso / resistência.
- [00014]** A publicação M. V. Silva, D. Stainer, H. A. Al-Qureshi, O. R. K. Montedo e D. Hotza, *Journal of Ceramics*, 1-6, 2014; caracterizaram a cerâmicas de alumina com várias composições, diferenciando-se nos materiais empregados e método de produção.
- [00015]** W. Jurczak, *Polish Maritime Research*, v. 22, 72-78, 2015; propõem a utilização da liga metálica 7020M e alumina para a proteção naval contra ameaças de tiros e explosões.
- [00016]** M. Grujicic, V. Avuthu, J. S. Snipes, S. Ramaswami, R. Galgalikar, *Journal of Materials Engineering and Performance*, v. 24, 4890-4907, estudaram através da análise computacional a utilização de sílica fundida submetida a penetração balística.
- [00017]** L. M. Bresciani, A. Manes, T. A. Romano, P. Iavarone, M. Giglio, *International Journal of Impact Engineering*, v. 87, 3-13, 2016, mostrou uma abordagem inovadora para modelagem 3D de ligas pesadas de tungstênio e cerâmica para aplicações balísticas.
- [00018]** Sean R., Liang Dong, Jasmine I. Keene, Haydn, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 75, 238-247, 2018, avaliou chapas comerciais de liga de níquel para aplicações estruturais e de impacto.
- [00019]** F. Braga, F. Luz, S. Monteiro, E. Lima, *Journal of Materials Research and Technology*, v. 7, 554-560, 2018, apresentou um estudo sobre a melhora na distribuição das tensões de impacto através da modificação na geometria das placas.

[00020] O documento CN109503175 A *Arcs silicon nitride bulletproof ceramic plate such as whole and preparation method thereof*, descreve o Nitreto de silício, alumina, granada de ítrio-alumínio dentre outros compostos que são usados para a fabricação de cerâmicas balísticas. Diferencia-se na utilização de outros tipos de materiais, sendo em sua maior parte o nitreto de silício.

[00021] O documento US20120190531 A1 *Alpha-beta SiAlON ballistic armor ceramic and method for making the same*, descreve a utilização do nitreto de silício, alumina e outros compostos como agente para produzir o composto SIAION que é a base dessa cerâmica. Diferencia-se por apresentar uma maior quantidade de compostos envolvidos e uma menor relação resistência densidade.

[00022] No documento EP2693157 A1 *Ballistic armor*, o processo descrito nesta patente compreende diversas composições, envolvendo cerâmicas balísticas veiculares. Nenhuma das composições abordadas abrange cerâmicas de alumina com adições de nitreto de silício.

[00023] No documento WO2019245941 A1 *Impact resistant material*, apresenta um novo composto polimérico para blindagens balísticas. Não possui composição cerâmica.

[00024] No documento RO128196 B1 *Process for preparing ceramic plates of composite materials based on sin/sic*, descreve o processo de preparação de um composto de nitreto de silício e carbetto de silício para fins balísticos. Não apresenta os mesmos materiais envolvidos, além de um processo diferente.

[00025] No documento WO2018011477 A1 *Armor plate*, apresenta placas balísticas de nitreto de silício e óxido de silício. Não apresentam os mesmos materiais e possui uma densidade muito superior.

[00026] No documento DK178289 B1 *Light weight composite armor with structural strength*, descreve um composto de vários materiais para proteção balística veicular com boa relação de peso. Não possui nitreto de silício na composição, mas seu desempenho é comparado ao Si_3N_4 pelo autor.

[00027] No documento US20170368784 A1 *Armor*, descreve o aparelho de blindagem flexível que minimiza a deterioração da armadura. Refere-se apenas ao design, apenas especificando de forma genérica qual cerâmicas balísticas podem ser utilizadas.

[00028] No documento US20170241747 A1 *Antiballistic armor comprising a super-hard strike face*, apresenta um conjunto de placas balísticas leves de cerâmica. Possui outros materiais envolvidos como carbetto de silício, nitreto de boro cúbico e diamante policristalino.

[00029] No documento FI126749 B *Method of manufacture of the ballistic protection structure*, abrange um método de fabricação de proteções balísticas de cerâmica. Não apresenta o mesmo método e materiais envolvidos.

[00030] O documento WO2006121477 A2 *SiAlON Ceramic and method of making the same*, compreende a utilização de alumina e nitreto de silício para obtenção da cerâmica de SiAlON. Embora apresente os mesmos materiais, eles são empregados em proporções diferentes, além de um outro processo de produção.

[00031] O documento WO2008100654 A2 *Alpha-beta sialon ballistic ceramic armor*, compreende a utilização de pós de alumina, nitreto de silício e SiAlON para obtenção de cerâmicas balísticas. Embora tenha, alumina e nitreto de silício, envolvidos, apresenta pós de SiAlON como precursores, além de outras proporções e outro processo.

[00032] O documento EP1710218 B1 *Composite armor plate*, descreve a utilização de vários pós cerâmicos para a produção de uma cerâmica balística. Possui diversos outros componentes, como o ítrio, carbetto de tungstênio e um grande teor de nitreto de silício.

[00033] O documento US5443917 A *Ceramic armor*, descreve os materiais e as propriedades para a produção da cerâmica balística. Apresenta uma quantidade muito superior de materiais envolvidos, além de o produto final ter uma densidade muito superior.

[00034] O documento PI0717535-3 A2 *Artigo de blindagem, e, método para produzir blindagem*, descreve diferentes métodos e diferentes materiais para se produzir uma blindagem balística. Apresenta diferentes materiais e métodos para se chegar em uma blindagem balística.

[00035] O documento WO200389869 A2 *Armor system*, compreende camadas de cerâmica, metal e outros materiais para atuar como sistema de blindagem balística. Engloba diferentes materiais além da cerâmica disposto em camada para se chegar na blindagem.

[00036] O documento WO201053611 A2 *Lightweight multi-component armor*, descreve um composto balístico leve para veículos com camadas em metal, cerâmica e polímeros. Apresenta uma aplicação diferente da proposta além de englobar diversos materiais para o mesmo fim.

[00037] O documento GB2372034 A *Alumina-silica ceramic having a glass phase for protecting high velocity projectiles*, descreve vidro de alumina e sílica contra impacto de projéteis de alta velocidade. Apresenta adição de silício em grandes quantidades na alumina, além de resultar em outro tipo de material “vidro”, diferente do proposto.

[00038] O documento US8318622 B2 *Alpha-beta SiAlON ballistic armor ceramic and method for making the same*, apresenta blindagens balísticas de cerâmica produzidas com pós de nitreto de silício e SiAlON. Possui a utilização de grandes quantidades de pós de SiAlON. Não apresenta alumina na composição.

[00039] O documento WO2019245941 A1 *Impact resistant material*, descreve uma composição de vários materiais para a finalidade balística. Apresenta inúmeros materiais, dentre elas cerâmicas selecionadas em nano partículas.

[00040] Nos documentos acima citados, embora nos processos neles descritos possam empregar alguns dos mesmos componentes, alumina e nitreto de silício, sendo a alumina comum neste tipo de aplicação. Diferencia-se no baixo teor de nitreto de silício empregado à alumina, junto com o processo de

produção diferenciado, que envolvendo sinterização sem pressão, o que gera uma cerâmica balística com uma excelente relação resistência/peso, que é o presente pedido de patente.

[00041] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

Sumário da Invenção

[00042] Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes nos antecedentes da invenção e estado da técnica a partir da produção de uma cerâmica balística que tem uma elevada dureza, boa tenacidade à fratura, além de uma relação resistência à flexão / densidade superior à alumina pura.

[00043] De modo que, em primeiro aspecto a invenção refere-se aos materiais e o processo de produção da cerâmica balística de alumina com adição de nitreto de silício.

[00044] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[00045] Exemplo 1. Realização preferencial (figura 1):

[00046] O processo compreende as seguintes etapas:

- (a) Pesagem e separação da composição, conforme teor de alumina e nitreto de silício desejados na composição;
- (b) Homogeneização dos pós cerâmicos em um moinho de bolas por 10 min;
- (c) Adição de 5% em massa de aglutinante (95% água / 5% PVA);
- (d) Homogeneização manual dos pós cerâmicos e aglutinante em um recipiente plástico flexível por 10 min;
- (e) Peneiramento dos pós cerâmicos em uma malha com 1,0 mm/ μ m;

- (f) Conformação das cerâmicas é realizada por prensagem uniaxial com uma carga de 40 Mpa, mantida por 10 segundos, seguido de 20 segundos de espera para a ejeção da peça;
- (g) Secagem é feita em temperatura ambiente por 24 horas;
- (h) Pré-queima e sinterização é realizada em um forno onde a programação da sinterização (figura 2) se inicia a 400 °C subindo em 2 horas até 550 °C em uma taxa de aquecimento de 1,25 °C/min. Mantem-se em 550 °C por 2 horas para pré-queima, eliminação do PVA e matéria orgânica. Sobe-se a temperatura até 1.600 °C em 2 horas a uma taxa de aquecimento de 8,75 °C/min. Mantem-se por 6 horas a 1.600 °C para a sinterização;
- (i) Resfriamento é feito de forma natural.

[00047] Os materiais envolvidos para a obtenção da cerâmica balística são:

- (a) Alumina, variando de 95 até 85% em massa na composição;
- (b) Nitreto de silício, variando de 5 até 15% em massa na composição
- (c) Solução de acetato de polivinila (95% água / 5% PVA).

[00048] Através do processo e dos materiais empregados é possível obter cerâmicas balísticas nas seguintes proporções (figura 3):

- (a) 95% Alumina (Al_2O_3) / 5% Nitreto de Silício (Si_3N_4);
- (b) 90% Alumina (Al_2O_3) / 10% Nitreto de Silício (Si_3N_4);
- (c) 85% Alumina (Al_2O_3) / 15% Nitreto de Silício (Si_3N_4).

Breve Descrição das Figuras

[00049] Com o intuito de melhor definir e esclarecer o conteúdo do presente pedido de patente, é apresentada a presente figura:

[00050] A figura 1 mostra um fluxograma de um exemplo do processo de produção das cerâmicas balísticas com adição de nitreto de silício.

[00051] A figura 2 mostra as rampas de sinterização para a produção das cerâmicas balísticas de alumina e nitreto de silício.

[00052] A figura 3 mostra o aspecto visual das cerâmicas produzidas em comparação com a alumina convencional sem nenhuma adição.

[00053] A figura 4 mostra a resistência à flexão das cerâmicas em relação a adição de nitreto de silício.

Descrição Detalhada da Invenção

[00054] A alumina é uma cerâmica balística com excelentes propriedades e ótimo custo-benefício, porém apresenta uma densidade elevada, o que ocasiona um maior peso a proteções e coletes balísticos.

[00055] Esse maior peso, ocasiona uma perda de mobilidade para o usuário, além de trazer riscos durante operações. Além disso, ocasiona um estresse nas articulações e aumentando os riscos de danos osteomusculares, que causam consequências a longo prazo para a saúde.

[00056] Desse modo, a presente invenção tem por objetivo uma cerâmica que apresenta uma melhor relação resistência / peso comparada a alumina convencional, possibilitando uma redução no peso da blindagem sem que se perca desempenho ou diminuição da proteção.

[00057] A figura 3 apresenta a aparência externa e interna das cerâmicas após a sinterização. Uma clara diferença visual pode ser observada conforme a variação do teor de Si_3N_4 que podem ser vistas tanto internamente quanto externamente. Cerâmicas de alumina pura, apresentam uma cor amarelada, tanto por dentro quanto por fora. As cerâmicas contendo nitreto de silício apresentam uma coloração externa cinza. O volume coberto pela região cinza aumenta conforme o teor de Si_3N_4 , indicando que a presença desse componente mais escuro está ligada à adição de nitreto de silício.

[00058] A tabela 1 apresenta os dados de retração, densidade, perda de massa e absorção de água das cerâmicas produzidas em comparação com a alumina convencional sem nenhuma adição. Ambas as densidades (calculadas

pelo método de Arquimedes e pela razão peso/volume medido) obtiveram valores muito semelhantes. Com o aumento da proporção de nitreto de silício, a retração diminuiu, há também uma diminuição na densidade. Na composição de 5% em massa de nitreto de silício, há uma acentuada diminuição da densidade. Nas amostras com adição de 10% em massa de nitreto de silício, há uma densidade ainda menor do que as amostras anteriores. A menor densidade ($3,025 \text{ g/cm}^3$) foi alcançada pela composição com 15% em massa do nitreto de silício.

Tabela 1 – Retração, densidade, perda de massa e absorção de água das cerâmicas.

Composição	Retração (%)	Perda de Massa (%)	Densidade Arquimedes (g/cm^3)	Densidade Relativa (g/cm^3)	Absorção de Água (%)
0%	17,664	2,952	3,881	3,874	0,008
5%	11,938	1,861	3,215	3,238	1,728
10%	10,123	2,315	3,052	3,083	0,792
15%	9,242	1,723	3,025	3,009	0,653

[00059] A tabela 2 e a figura 4 mostram os dados de resistência à flexão das cerâmicas produzidas em relação a adição de nitreto de silício. As amostras com 10% em massa de Si_3N_4 apresentaram os maiores resultados, $101,08 \pm 10,15 \text{ Mpa}$, seguidas pelas amostras de controle (alumina pura) com $83,84 \pm 13,61 \text{ Mpa}$. Os menores resultados foram observados para a cerâmica com 5 e 15% em massa de Si_3N_4 , $73,02 \pm 2,29 \text{ Mpa}$ e $66,55 \pm 8,67 \text{ Mpa}$, respectivamente.

Tabela 1 – Resistência à flexão das cerâmicas.

Composição	Módulo de Ruptura à Flexão (MPa)	
0%	83,84	$\pm 13,61$
5%	73,02	$\pm 2,29$
10%	101,08	$\pm 10,15$
15%	66,55	$\pm 8,67$

[00060] Em um contexto de cerâmicas balísticas, a relação entre a resistência à flexão e a densidade dos materiais é muito importante, uma vez

que o peso total da proteção cerâmica é um fator relevante na seleção desses compostos avançados. Uma relação entre a resistência à flexão e a densidade das cerâmicas Al_2O_3/Si_3N_4 produzidas pode ser vista na tabela 3. A cerâmica de alumina pura apresenta a menor relação entre resistência e densidade. As amostras produzidas com 15% em massa de nitreto de silício apresenta uma diminuição nos resultados quando comparadas com a composição de 5% em massa. Os melhores resultados foram alcançados pela composição de 10% em massa de Si_3N_4 . Apesar da resistência à flexão similar de todas as composições, a densidade mais baixa das amostras de 10% em massa resulta em uma resistência específica muito maior, aproximadamente 53% superior que a da alumina pura. Essa excelente propriedade indica que a cerâmica de 10% em massa de Si_3N_4 é um excelente candidato para aplicação em blindagens balísticas.

Tabela 2 – Relação entre resistência à flexão e densidade das cerâmicas.

Composição	σ/ρ (MPa.g ⁻¹ .cm ³)
0%	21.6
5%	22.7
10%	33.1
15%	22.0

[00061] Assim, em um primeiro aspecto a invenção refere-se a uma cerâmica balística obtida através do processo de produção e utilização de alumina com adição de nitreto de silício em baixa quantidade.

[00062] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[00063] Exemplo 1. Realização preferencial (figura 1):

[00064] O processo compreende as seguintes etapas:

- (j) Pesagem e separação da composição, conforme teor de alumina e nitreto de silício desejados na composição;
- (k) Homogeneização dos pós cerâmicos em um moinho de bolas por 10 min;

- (l) Adição de 5% em massa de aglutinante (95% água / 5% PVA);
- (m) Homogeneização manual dos pós cerâmicos e aglutinante em um recipiente plástico flexível por 10 min;
- (n) Peneiramento dos pós cerâmicos em uma malha com 1,0 mm/ μ m;
- (o) Conformação das cerâmicas é realizada por prensagem uniaxial com uma carga de 40 Mpa, mantida por 10 segundos, seguido de 20 segundos de espera para a ejeção da peça;
- (p) Secagem é feita em temperatura ambiente por 24 horas;
- (q) Pré-queima e sinterização é realizada em um forno onde a programação da sinterização (figura 2) se inicia a 400 °C subindo em 2 horas até 550 °C em uma taxa de aquecimento de 1,25 °C/min. Mantem-se em 550 °C por 2 horas para pré-queima, eliminação do PVA e matéria orgânica. Sobe-se a temperatura até 1.600 °C em 2 horas a uma taxa de aquecimento de 8,75 °C/min. Mantem-se por 6 horas a 1.600 °C para a sinterização;
- (r) Resfriamento é feito de forma natural.

[00065] Os materiais envolvidos para a obtenção da cerâmica balística são:

- (d) Alumina, variando de 95 até 85% em massa na composição;
- (e) Nitreto de silício, variando de 5 até 15% em massa na composição
- (f) Solução de acetato de polivinila (95% água / 5% PVA).

[00066] Através do processo e dos materiais empregados é possível obter cerâmicas balísticas nas seguintes proporções (figura 3):

- (d) 95% Alumina (Al_2O_3) / 5% Nitreto de Silício (Si_3N_4);
- (e) 90% Alumina (Al_2O_3) / 10% Nitreto de Silício (Si_3N_4);
- (f) 85% Alumina (Al_2O_3) / 15% Nitreto de Silício (Si_3N_4).

[00067] Os pós cerâmicos de alumina e nitreto de silício são separados e pesados em uma balança analítica conforme as três opções de composições

cerâmicas propostas. Este material é então homogeneizado em um moinho de bolas por 10 minutos. Esta etapa acaba por moer também o grão e reduzir sua granulometria.

[00068] Adiciona-se 5% em massa de uma solução de PVA (95% água / 5% acetato de polivinila). Essa solução atua como ligante, mantendo as partículas unidas, impedindo que o material se desfaça após a conformação até a hora da queima. Os pós cerâmicos são colocados em um recipiente plástico flexível juntamente com o PVA para a homogeneização manual por 10 minutos. Essa etapa deve ser feita manualmente pois a adição do PVA a composição formará vários grumos que devem ser desmanchados manualmente para a correta homogeneidade da composição.

[00069] Após a homogeneização dos compostos com o PVA, os pós cerâmicos devem ser peneirados em uma malha de 1,0 mm/ μ m. Essa etapa elimina qualquer grânulo residual ou grão de granulometria superior a 1mm.

[00070] Seguido do peneiramento, o processo de compactação e conformação das composições dos pós cerâmicos é realizado em uma prensa hidráulica. A cavidade do molde é preenchida com o pó cerâmico preparado anteriormente e sua compactação é dada por prensagem uniaxial com uma carga de 40 MPa mantida por 10 segundos. Essa etapa do processo molda a cerâmica no formato desejado e agrupa os pós, eliminando uma grande quantidade de vazios.

[00071] A secagem das cerâmicas conformadas é realizada a temperatura ambiente por 24 horas. Esse passo elimina a água remanescente da etapa de prensagem.

[00072] Após secagem, os corpos cerâmicos são levados para queima em um forno programável. A programação da queima se inicia a 400 °C subindo em 2 horas até 550 °C em uma taxa de aquecimento de 1,25 °C/min. Mantem-se em 550 °C por 2 horas para pré-queima. A pré-queima elimina o PVA utilizado como ligante e alguma matéria orgânica residual. Sobe-se a temperatura até 1.600 °C em 2 horas a uma taxa de aquecimento de 8,75 °C/min. Mantem-se por 6 horas

a 1.600 °C para a sinterização. Na sinterização, ocorre a retração do material, eliminação da porosidade e formação das ligações químicas responsáveis pelas propriedades da cerâmica balística.

[00073] Após a sinterização e finalização da programação do forno, o resfriamento é feito de forma natural. Essa etapa do processo leva cerca de 15 horas e favorece o crescimento de grão. Ao final de todo o processo, é obtida a cerâmica balística de alumina com adição de nitreto de silício que apresenta uma relação resistência / densidade cerca 50% superior a alumina convencional.

[00074] Como pode ser observado na tabela 1 a cerâmica com 10% de adição de nitreto de silício obteve uma densidade cerca de 21% inferior a alumina padrão. Além disso, essa mesma composição alcançou, de acordo com a tabela 2 e a figura 4, uma resistência a flexão cerca de 29% superior a alumina padrão. Na tabela 3, pode ser observado que a junção destas características foi capaz de produzir uma cerâmica com uma relação resistência/densidade cerca de 53% superior a alumina padrão utilizada em blindagens balísticas. De acordo com essas vantagens e características otimizadas, Através do presente pedido de patente pode ser possível:

- Produzir cerâmicas balísticas com o mesmo nível de proteção da alumina pura, porém com o peso reduzido.
- Produzir cerâmicas balísticas com o mesmo peso da alumina pura, porém com nível superior de proteção.
- Produzir cerâmicas balísticas com nível superior de proteção e inclusive peso reduzido, comparados a alumina convencional.
- Produzido sem o uso de sinterização com pressão (processo de produção), o que gera uma economia de custo.

Reivindicações

1. Processo de produção da cerâmica balística de alumina com adição de nitreto de silício **caracterizado por** compreender as seguintes etapas

- (a) Pesagem e separação
- (b) Homogeneização
- (c) Adição aglutinante (água + PVA)
- (d) Homogeneização manual
- (e) Peneiramento
- (f) Conformação das cerâmicas
- (g) Secagem
- (h) Queima e sinterização
- (i) Resfriamento

em que a etapa (a) compreende a separação dos pós cerâmicos; a etapa (b) compreende a homogeneização dos pós cerâmicos em um moinho de bolas; a etapa (d) compreende a homogeneização manual dos pós cerâmicos e aglutinante em um recipiente plástico flexível; a etapa (e) compreende o peneiramento dos pós cerâmicos em uma malha de 1,0 mm/ μ m; a etapa (f) compreende a conformação por prensagem uniaxial com a carga mantida por 10 segundos, seguido de 20 segundos de espera para a ejeção da peça; a etapa (g) compreende a secagem em temperatura ambiente por 24 horas; a etapa (h) compreende rampas de queima e sinterização em um forno programável onde a programação se inicia a 400 °C subindo em 2 horas até 550 °C em uma taxa de aquecimento de 1,25 °C/min; Mantem-se em 550 °C por 2 horas; Sobe-se a temperatura até 1.600 °C em 2 horas a uma taxa de aquecimento de 8,75 °C/min; Mantem-se por 6 horas a 1.600 °C; a etapa (i) compreende o resfriamento realizado de forma natural.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** na etapa (c) ser adicionado uma solução de PVA e água, sendo homogeneizados na etapa (d).

3. Processo, de acordo com a reivindicação de 1, **caracterizado por** compreender na conformação, etapa (f), cargas abrangendo a faixa de 30 até 120 MPa.

4. Processo, de acordo com a reivindicação de 1, **caracterizado por** compreender rampas de aquecimento e sinterização específicas na etapa (h).

5. Processo, de acordo com a reivindicação de 1, **caracterizado por** utilizar a sinterização sem pressão.

6. Composição da cerâmica balística de alumina com nitreto de silício, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** usar nitreto de silício, adicionado a alumina com solução de PVA como ligante, compreendendo as seguintes proporções em massa

(a) 80-98% de Alumina

(b) 2-20% de Nitreto de silício

(c) 0-8% de Solução de acetato de polivinila (95% água / 5% PVA).

7. Uso da cerâmica balística de alumina com nitreto de silício, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, **caracterizado por** compreender aplicações de blindagem balística.

FIGURAS

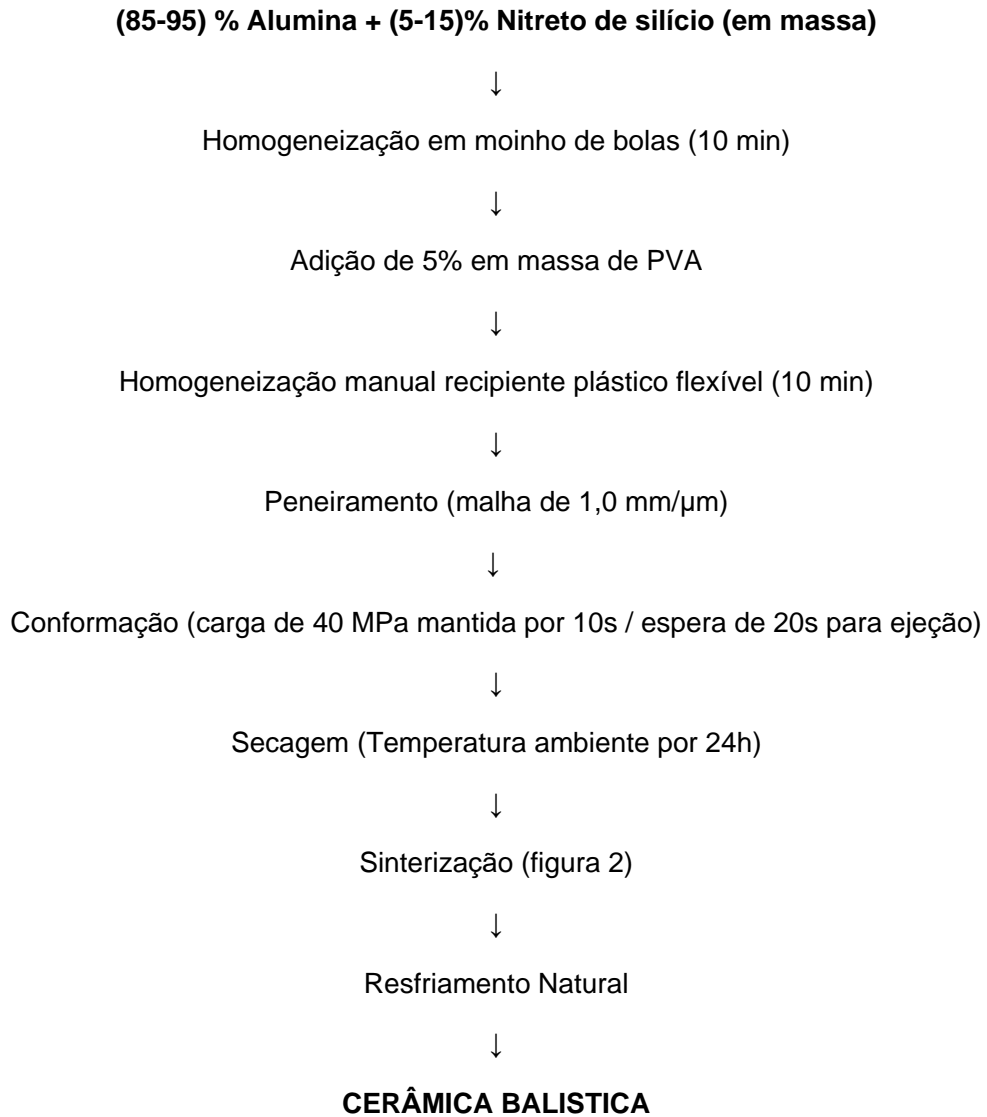


Figura 1

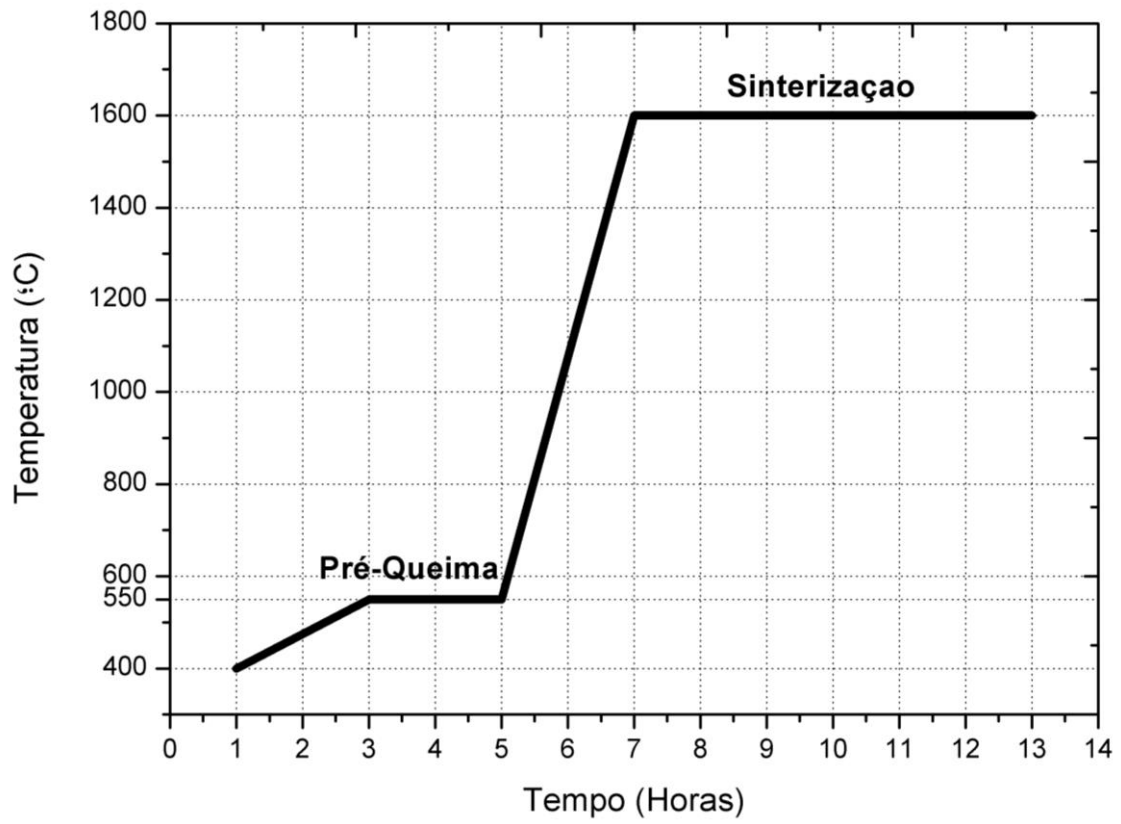


Figura 2

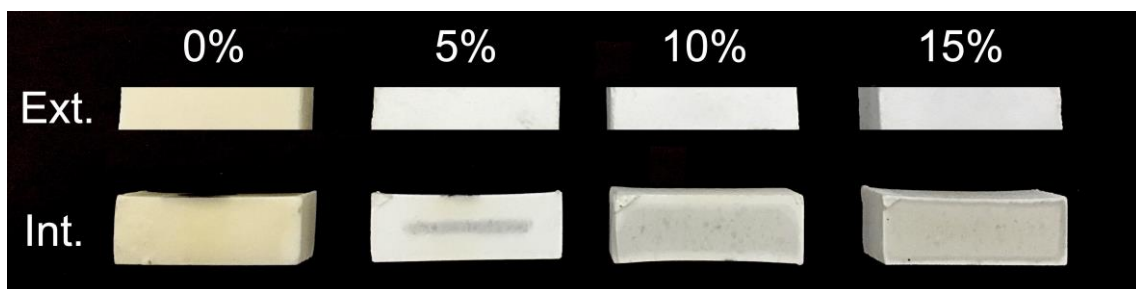


Figura 3

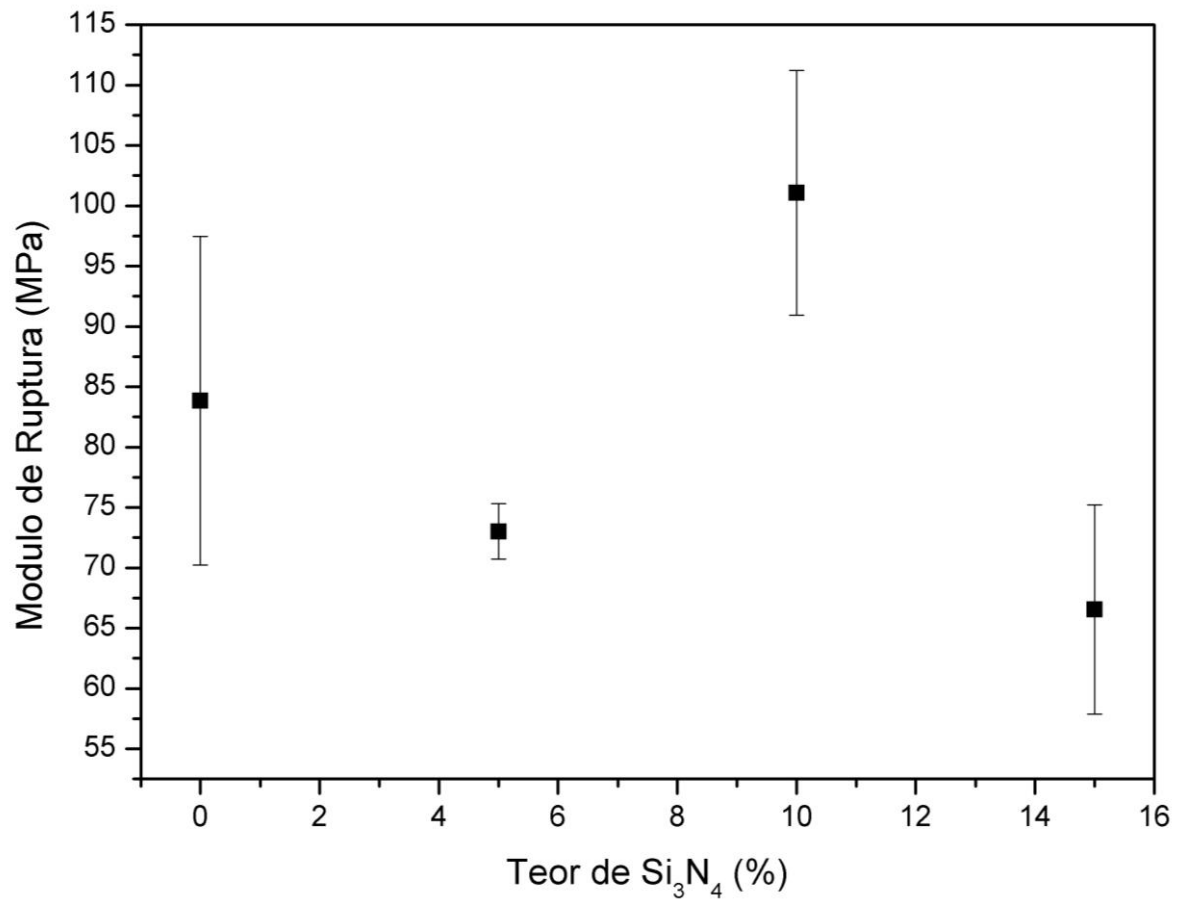


Figura 4

Resumo

**CERÂMICA BALÍSTICA DE ALUMINA COM ADIÇÃO DE NITRETO DE SILÍCIO,
PROCESSO DE OBTENÇÃO, COMPOSIÇÃO E USO DA MESMA**

A presente invenção descreve o processo e os materiais empregados para a produção de uma cerâmica balística com uma relação resistência/densidade superior a cerâmica convencional de alumina utilizada para blindagens. A presente invenção se situa nos campos de engenharia de materiais, balística e militar.