

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS**

Jansen Antunes Correa de Sousa

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO COM
PROPRIEDADE CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Recife, 2020

Jansen Antunes Correa de Sousa

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO COM
PROPRIEDADE CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Informática, modelagem e otimização de processos

Orientador: Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um compósito com propriedade corta-fogo à base de gesso e cinzas de carvão mineral. 2020, p 76.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2020.

1. Compósito. 2. Pré-moldados de gesso-cinza de carvão mineral. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

**DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO COM
PROPRIEDADE CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E
CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Jansen Antunes Correa de Sousa

Examinadores:

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Prof. Dr. Marcos Antônio Barbosa de Lima
Dpt. de Biologia Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Prof. Dr. Carlos Costa Dantas
DEN-CTG - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter tornado esse sonho possível. Por ter sido fiel e bondoso para comigo em todos os momentos.

A minha família por todo amor, base e princípios que hoje regem a minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Valdemir Alexandre pela confiança, apoio, amizade e por ter sido peça fundamental nessa conquista, sem a qual eu não teria realizado este sonho.

Aos meus queridos professores que contribuíram para a minha formação acadêmica.

A minha amiga engenheiranda Nathalia França, por ter contribuído com seu conhecimento e instruções para esse trabalho.

Aos meus amigos do mestrado, por todo o incentivo que me transmitiram durante a realização dessa primeira etapa de trabalho, em especial minha amiga Tecnóloga Maira Raely pelo suporte técnico e pela motivação durante as dificuldades.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de produção de gesso no PGA	20
Figura 2 - Fluxograma de um processo de produção de gesso.....	21
Figura 3 - Uma das variedades do mineral Gipsita	22
Figura 4 - Detalhes da utilização do gesso na construção civil	23
Figura 5 - Divisórias de ambientes com gesso.....	23
Figura 6 - Processo de formação das cinzas durante a combustão do carvão.....	28
Figura 7 - Estruturas zeolíticas	30
Figura 8 - Arranjo experimental para a medição das temperaturas externa e internas: 1) Medidor de temperatura laser; 2) Bico de Bunsen; 3) Corpo de Prova; 4) Tubulação de GLP; 5) Termopares; 6) Display de Medição de Temperatura	44
Figura 9 - Fotografia da bancada de testes.....	44
Figura 10 - Bloco de divisória interna do tipo compacto confeccionado com gesso e cinzas de carvão mineral. Espessura/ comprimento/ altura (70 mm/ 600 mm/ 500 mm, respectivamente.	45
Figura 11 - Temperaturas no bloco confeccionados apenas com gesso 100% e registradas pelos termopares nas posições 1,2 e 3, em função do tempo.....	47
Figura 12 – Temperaturas no bloco confeccionado com gesso e teor 20% de cinzas de carvão mineral	47
Figura 13 - Temperaturas no bloco confeccionado com gesso e teor de 40% de cinzas de carvão mineral	48
Figura 14 - Temperaturas no bloco confeccionado com gesso e teor 60% de cinzas de carvão mineral	48
Figura 15 - Compósito constituído de gesso com 40% de cinza de carvão mineral. Pode-se observar a homogeneidade das cenoferas das cinzas (setas) na matriz de gesso	49
Figura 16 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória, em contato com a chama de GLP, registradas pelos termopares 1, 2 e 3, em função do tempo, confeccionado apenas com gesso 100%.....	50
Figura 17 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória confeccionado com gesso e teor de 20% de cinzas de carvão mineral.....	50
Figura 18 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória confeccionado com gesso e teor de 40% de cinzas de carvão mineral.....	51
Figura 19 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória confeccionado com gesso e teor de 60% de cinzas de carvão mineral.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios de resistência ao fogo segundo o Decreto Estadual do Estado de São Paulo	42
Tabela 2 - Redução percentual de temperatura após 120 minutos para diferentes teores de cinzas de carvão mineral na superfície oposta à superfície em contato com uma chama de \pm GLP à $605 \pm 4^\circ\text{C}$	52

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO	8
RESUMO	10
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.1.1 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 Desenvolvimento Sustentável na Construção Civil	17
3.2 Gesso	18
3.2.1 Minério Gipsita	18
3.2.2 Tipos de gesso	19
3.2.3 Produção de Gesso	20
3.2.4 Propriedades e Aplicações da Gipsita	21
3.2.5 Compósitos de Gesso	23
3.3 Cinzas de Carvão Mineral (CCM)	26
3.3.1 Processo de Formação	26
3.3.2 Disponibilidade e Aplicações das Cinzas de Carvão Mineral	28
3.3.3 Propriedades das Cinzas de Carvão Mineral	30
3.4 Critérios para Classificação de Materiais Corta-Fogo	31
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
CAPÍTULO II	39
ARTIGO A SER ENVIADO À REVISTA Journal of Cleaner Production	39
2. INTRODUÇÃO	41
3. MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Arranjo Experimental	43
3.2 Caracterização do Gesso e da cinzas de carvão mineral	46
4. Metodologia de Trabalho	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6. CONCLUSÕES	53
CAPÍTULO III	55
7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56

7.1 Conclusões Gerais	56
7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	56
8. Referências Bibliograficas	57
ANEXO I	61

RESUMO

Entre os principais materiais de construção civil o gesso tem se destacado, sobretudo para fabricação de pré-moldados. Nos Estados Unidos e na Europa existem mais de quinhentas aplicações para o gesso, enquanto que no Brasil essas diferentes aplicações são em torno de trinta e cinco. Torna-se evidente, portanto, a necessidade de se desenvolver mais aplicações para que o gesso continue a se apresentar como um dos recursos de desenvolvimento da Região Nordeste do Brasil; denominado por parte de alguns aficionados da cadeia gesseira de o “Ouro Branco”. Essas novas aplicações do gesso envolvem o reaproveitamento de resíduos industriais, como forma de uso racional de reservas de cinzas de carvão mineral para produção de compósito, as quais podem tornar a atividade gesseira mais sustentável. As cinzas são resíduos sólidos, oriundos da combustão do carvão mineral, sendo um dos principais passivos ambientais em Usinas Termoelétricas (UTE's) que utilizam o carvão mineral como matriz energética. A cinza de carvão mineral é um resíduo bastante conhecido e abundante, mas sem uma aplicação eficiente ainda definida. Contudo pode ser aplicada em processos industriais que permitam o desenvolvimento de materiais de construção, desde que essa aplicação permita seu uso de forma segura, tornando extremamente importante a sua reutilização, ao ponto de proporcionar uma destinação sustentável. Nesta pesquisa o gesso e a cinza de carvão mineral foram misturados para a obtenção de um compósito de propriedades corta-fogo. O compósito proposto compreendeu um material para confecção de blocos de divisória com propriedade corta-fogo, necessária à segurança em certos recintos de convivência ou que abrigam equipamentos que envolvem o manuseio de materiais combustíveis (sala de transformadores e disjuntores em alta tensão em subestações de potência). Foram confeccionados corpos de prova como também, divisórias deste compósito que foram submetidos a condições propícias à propagação de chamas. Entretanto, para garantir uma quantidade de água presente na amostra, a técnica foi aplicada a blocos de divisória maciços e em escala comercial. As temperaturas na superfície dos blocos, em contato com uma chama de GLP ($605\pm 4^{\circ}\text{C}$), e em diferentes posições no interior dos mesmos, foram monitoradas. Um modelo polinomial de regressão indicou uma redução percentual de temperatura da ordem de 23%, por

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

120 minutos, para a superfície do bloco confeccionado com um teor de cinza de carvão mineral de 40%. Esta redução na temperatura demonstra o potencial do uso da cinza de carvão mineral na confecção de blocos de divisórias corta-fogo, possibilitando assim edificações mais seguras e sustentáveis.

Palavras-Chave: Gesso beta, Cinzas de carvão mineral, Blocos de divisória, Propriedade corta-fogo, Edificações sustentáveis.

ABSTRACT

Among the main materials of civil construction or prominence, mainly for the manufacture of precast. In the United States and Europe there are more than five hundred applications for accessories, while in Brazil these different applications are around thirty-five. It became evident, therefore, the need to develop more applications for those who continue to exhibit as one of the development resources of the Northeast Region of Brazil; called by some aficionados of the plaster chain "Ouro Branco". These new applications of gypsum involved or reuse of industrial waste, as a way of rational use of coal ash reserves, coal ash for compost production can make the plastering activity more sustainable. As ashes are solid residues from coal-based mineral fuel, being one of the main environmental liabilities in Thermoelectric Plants (UTE's) that use mineral coal as the energy matrix. A coal mineral is a well-known and abundant by-product, but without an efficient application yet defined. However, it can be applied to industrial processes that allow the development of building materials, provided that this application allows the use of its safe form, making it extremely important to reuse it, up to the point of designated sustainable use. In this research, the gray coal mineral was mixed to cause a compound with fireproof properties. The proposed compound comprises a material for making partition blocks with fire protection properties, security for safety in certain living areas or houses equipment that involves or handling material materials (high voltage transformers and circuit breakers room in the sub-limits of high voltage performance). Test specimens of this compound were made and used conditions conducive to the propagation of flames. However, to guarantee a quantity of water present in the sample, a technique was applied to the massive and commercial scale partition blocks. As temperatures on the surface of the blocks, contact a LPG flame (605 ± 4 ° C) and in different positions inside them, were monitored. A polynomial regression model indicates a percentage reduction in temperature of around 23%, for 120 minutes, for a block surface made with a content of coal ash of 40%. This reduction on the face opposite the surface in contact with a flame, confirming the detection of fire break blocks, signals the possibility of safety and more sustainable changes.

Keywords: Beta Plaster, Coal Ash, Partition Blocks, Firewall, Sustainable Buildings.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Entre os principais materiais de construção civil, destaca-se o gesso, que possui muitas aplicações, sobre tudo para fabricação de pré-moldados. Novas técnicas como: aditivação do gesso, incorporação de resíduos fibrosos e moldagem por prensagem mecânica estão sendo empregadas na produção de novos pré-moldados de gesso afim de melhorar suas características mecânicas e aspectos de durabilidade (GONÇALVES, FERRAZ, 2014).

Existem atualmente no PGA (Polo Gesseiro do Araripe), centenas de fábricas de pré-moldados cujos principais produtos são: placas, blocos, painéis de gesso acartonado e, ainda, “tijolos” de gesso. Esses pré-moldados são produzidos através da hidratação do pó de gesso e seguidamente moldagem da pasta em moldes específicos. São caracterizados por serem materiais frágeis, que apresentaram baixas resistências à compressão, à flexão e aos impactos. Sabe-se também que as características mecânicas desses pré-moldados dependem de diversos fatores, tais como: a natureza do gesso utilizado (gessos α ou β) e do processo de preparação, como da consistência (relação água/gesso em massa), da presença de aditivos e da técnica de moldagem (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008).

No Brasil, o Estado que mais produz gipsita é Pernambuco, em 2013 foi responsável por 84,3 % da produção total brasileira. Outros estados produtores de gipsita no referido ano foram, e ainda são seguidos pelo Maranhão (10,4 %), Ceará (2,6 %), Tocantins (1,1 %), Amazonas (0,8 %), Pará (0,5 %) e Rio Grande do Norte (0,3 %). Vale destacar que o Polo Gesseiro do Araripe (PGA), situado no extremo oeste de PE; é formado pelos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri (DNPM, 2015).

Uma das principais fontes de impacto ambiental relacionada diretamente às atividades de extração de gipsita são as pilhas de resíduos, sistematicamente dispostas na área de influência direta do empreendimento, constituídas por finos oriundos do desmonte (perfuração e detonação) e pela parcela de material estéril, retirada na operação de lavra (a céu aberto). Por apresentar uma granulometria que limita seu campo de aplicação, se faz necessário conhecer as propriedades desses resíduos extraídos e aproveitá-los como uma alternativa à mitigação dos inconvenientes envolvidos em sua disposição, contribuindo, assim, para o

desenvolvimento econômico e social do semiárido pernambucano e redução dos impactos ambientais por ele gerado (MELO et al., 2017). Os materiais compósitos são caracterizados como a união de dois ou mais materiais com diferentes propriedades, formando outro material com características herdadas dos materiais utilizados na fronteira no desenvolvimento de materiais de engenharia (PINHEIRO FILHO, 2018).

Segundo Avelar (2012), a utilização de cinzas de carvão mineral encapsuladas proporciona diversos benefícios ambientais e econômicos, onde as cinzas de carvão podem ser transformadas como constituintes básicos de produtos de diferentes segmentos industriais (Construção Civil, Artefatos Cerâmicos, Moveis e Utensílios, etc.). De acordo com Macieira (2011), os benefícios ambientais para esse tipo de uso de cinzas e gesso incluem: (a) redução de gases do efeito estufa devido à substituição de fornos de queima de cimento e materiais cerâmicos por moldagem e prensagem a frio e reatores de polimerização em massa; (b) redução de desmatamentos, com a substituição de móveis em madeira por pré-moldados (prensagem e moldagem) de cinza-gesso. Além desses benefícios socioeconômicos, não há registros de problemas para a saúde humana ou para o meio ambiente com o uso de resíduos de gesso, e cinzas encapsuladas (VIEIRA, 2017). As cinzas ou resíduos sólidos do carvão mineral, resultante dos processos de queima deste produto nas usinas termelétricas, é um subproduto bastante conhecido e abundante, porém ainda sem tecnologia apropriada para aplicação em processos industriais que permitam o desenvolvimento de construções sustentáveis (ACAA, 2016). Uma vez que as concentrações de seus componentes estejam dentro de limites, e que não apresentem riscos ao meio ambiente e a saúde humana, torna-se extremamente importante a reutilização das cinzas de carvão, de forma a proporcionar a este resíduo uma destinação sustentável. Estima-se, por exemplo, que para cada tonelada de cinzas utilizadas substituindo o cimento, cessa a emissão de uma tonelada de dióxido de carbono para a atmosfera (KADIYALA, et al. 2016). Com base nas premissas expostas foi realizada a análise térmica das condições adequadas de extinção de chamas em blocos de divisórias, ou revestimentos à base de gesso e cinzas de carvão mineral.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um compósito com propriedade corta-fogo à base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral para a produção de blocos pré-moldados de divisória interna.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar as propriedades físico-químicas e microestruturais do gesso e da cinza de carvão mineral, que levem à propriedade corta-fogo;
- Confeccionar corpos de prova para avaliar as características corta-fogo do bloco de divisória proposto;
- Realizar testes para observar o efeito causado pelo teor de cinzas nos corpos de prova laboratoriais e comerciais;
- Classificar o tipo de material corta-fogo que caracteriza o compósito desenvolvido.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Desenvolvimento Sustentável na Construção Civil

A construção civil é a indústria responsável por uma grande parte da extração de recursos naturais do planeta. Por essa razão, a quantidade de resíduos gerados por ela vem crescendo de forma relevante nos últimos tempos. Com isso, aumenta-se a preocupação com os impactos ambientais, geração e deposição de maneira inadequada dos resíduos oriundos dos materiais produzidos. Como intuito de reduzir esses impactos ambientais causados por esses resíduos, aumenta-se a demanda por meios sustentáveis, baseados na redução e prevenção desses materiais (LIMA, CABRAL, 2013).

Desenvolvimento de habitações sustentáveis, com móveis, acessórios e utensílios, construídos à base de compósitos produzidos com resíduos de processos industriais e gesso, parece ser a solução para um uso mais racional do próprio gesso, podendo-se desenvolver novos materiais, ou seja, como novos tipos de aplicações para o gesso. Entre esses resíduos industriais destacam-se, os de gesso e as cinzas de carvão mineral (resíduo de usinas termelétricas). Um material elaborado pela mistura desses resíduos possui um alto apelo ambiental, pois seus elementos constitutivos, como resíduos industriais, são obtidos com baixíssima emissão de gases de efeito estufa (CO_2 , CO , NO_x , SO_x) e podem auxiliar na redução de impactos provocados por passivos ambientais. A cinza ou resíduo sólido do carvão mineral, resultante dos processos de queima deste produto nas usinas termelétricas, é um subproduto conhecido e abundante, porém ainda sem tecnologia apropriada, aplicada em processos industriais que permitam o desenvolvimento de construções sustentáveis (ACAA, 2016).

Uma vez que as concentrações de seus componentes estejam dentro dos limites estabelecidos que não apresentem riscos ao meio ambiente e a saúde humana, torna-se extremamente importante a reutilização das cinzas de carvão, de forma a proporcionar a este resíduo uma destinação sustentável. Estima-se, por exemplo, que para cada tonelada de cinzas de carvão mineral utilizadas substituindo o cimento, encerra a emissão de uma tonelada de dióxido de carbono para a atmosfera (KADIYALA, et al. 2016).

De acordo com Vasconcelos 2018, o reaproveitamento das cinzas de carvão mineral destaca-se por ser a melhor alternativa social, ecológica e econômica, trazendo vantagens como: a redução de custos industriais, a economia da matéria-prima renovável e não renovável utilizadas industrialmente, a melhoria da imagem da empresa como também a redução do descarte desses resíduos de maneira inadequada.

3.2 Gesso

3.2.1 Minério Gipsita

Gipsita, sulfato de cálcio semi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), encontrada no Polo Gesseiro do Araripe (PGA), Pernambuco, é considerada a de melhor qualidade no mundo, com teor de pureza variando de 88% a 98%, contendo 79% de sulfato de cálcio e 21% de água de cristalização. Quando desidratada até a perda de 1,5 moléculas de água, constitui-se num semi-hidrato de sulfato de cálcio estável ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), denominado gesso. As características do gesso são a capacidade de re-hidratação em presença de água (reação exotérmica), o fenômeno de pega e o retorno à estrutura cristalina do semi-hidrato. O PGA produz 95% do gesso consumido no Brasil (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008). As reservas são estimadas em 1,2 bilhões de toneladas, quinto volume do mundo, dando origem a 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação, cerca de 750 indústrias de pré-moldados, gerando 13,9 mil empregos diretos, 69 mil indiretos (GRANJA, et al., 2017). O gesso é um material incombustível, isolante térmico e acústico. É utilizado como barreira corta-fogo, pois tem um baixo coeficiente de condutibilidade térmica, e libera água de sua constituição quando exposto ao calor do fogo (calcinação até 350°C) (GYPSUM ASSOCIATION, 2009), impedindo que o fogo alastre a outras zonas do local onde está aplicado. Sabe-se ainda que o gesso apresenta restrições na construção devido a sua baixa resistência mecânica. Contudo, com a aplicação de técnicas de aditivação e elaboração de compósitos, tem ocupado lugar de destaque a ponto de competir diretamente com o concreto (GENCEL et al., 2014, AVELAR, 2012). O gesso representa uma grande fração dos resíduos de construção e demolição gerados pela sociedade, o que pode contaminar o solo e os recursos hídricos. Embora estudos anteriores tenham indicado a possibilidade da reciclagem desse material, não se sabe

até agora, se o processo de reciclagem afeta os produtos reidratados e quantas vezes são permitidos sua reciclagem sem alterar suas características (CAMARIN, 2017).

3.2.2 Tipos de gesso

Segundo Ferreira (2017), cinco tipos de gesso são obtidos em função da temperatura e pressão utilizadas no processo de calcinação, o que define, também, suas propriedades no estado fresco e endurecido, incluindo o tempo de pega e a resistência mecânica. Os tipos de gesso são eles:

- O semi-hidratado de cálcio α ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) caracteriza-se por apresentar grande fluidez, propriedade que permite sua utilização em peças pré- moldadas com excelente desempenho mecânico.
- O semi-hidrato β ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), o qual para ser produzido faz-se necessária uma temperatura entre 140°C e 160°C , tendo em vista que ao depender da temperatura e pressão, o número de moléculas de água de cristalização varia entre 0,15 e 0,66, com o valor típico de 0,5.
- A Anidrita III ou anidrita solúvel, é muito solúvel e pode ser utilizada amplamente como acelerador de pega de gesso, podendo se transformar em semi-hidrato apenas na presença da umidade do ar.
- Anidrita II ou anidrita insolúvel, é produzida entre 220°C e 350°C .

A mistura da anidrita II com o semi-hidrato β normalmente é utilizada para gesso para revestimento e pode levar até 7 dias para se hidratar. A fração calcinada entre 700 e 800°C é denominada anidrita calcinada à morte e hidrata-se após alguns meses. O produto da hidratação da anidrita é caracterizado por possuir porosidade reduzida, alta capacidade de resistência mecânica e dureza elevada.

Anidrita I ou anidrita- α (CaSO_4): Obtida quando a gipsita é calcinada em temperaturas que variam de 1100 e 1200°C . Esse tipo de gesso possui tempo de pega e endurecimento lento e resulta em uma massa dura e tenaz. Essa fase pode conter óxidos de cálcio (cal livre), devido ao início do processo de dissociação térmica do CaSO_4 , possível já a partir de 800°C . Por isso, essa fase pode ser chamada de não pura. Esses quatro últimos tipos de gesso dependem da faixa de temperatura de calcinação, e são classificados, de acordo com Johnne Cincotto (2007), Junior (2008), Peres, Benachour e Santos (2008).

3.2.3 Produção de Gesso

O processo industrial de produção de gesso emite menos carbono anidro (CO_2) e revela a menor energia de consumo quando comparado ao de cimento e cal. É por essa razão que é considerado material sustentável. Contudo, gesso endurecido é intrinsecamente macio e possui solubilidade em água apreciável. Portanto, seu uso é restrito principalmente ao uso interno de aplicações. Emplastos são produzidos no chão de gesso por um processo envolvendo dissolução e subsequente precipitação do di-hidrato (DH) da solução (AL- HANAQTAH, 2014).

A Figura 1, apresenta a produção de gesso no PGA (Polo Gesseiro de Araripe), que ocorre de modo muito uniforme em todas as empresas, basicamente em duas etapas sucessivas: (i) cominuição; e (ii) calcinação. Na cominuição, a gipsita extraída das minas tem sua dimensão reduzida em britadores de mandíbula e moinhos de martelos, acionados por motores elétricos, de forma a conferir a granulometria adequada às partículas minerais. Já na calcinação ocorre a decomposição térmica da gipsita, cujo objetivo é a eliminação de parte da água de cristalização combinada a sua estrutura, para a formação do gesso, com a co-produção de vapor d'água. Esse processo ocorre em fornos industriais, onde a gipsita é introduzida em condições ambiente e, ao receber energia térmica, experimenta uma elevação em sua temperatura, até alcançar o patamar característico da transição de fase (transformação de gipsita em gesso), em torno dos 130°C (MENDES; SANTOS, 2018).

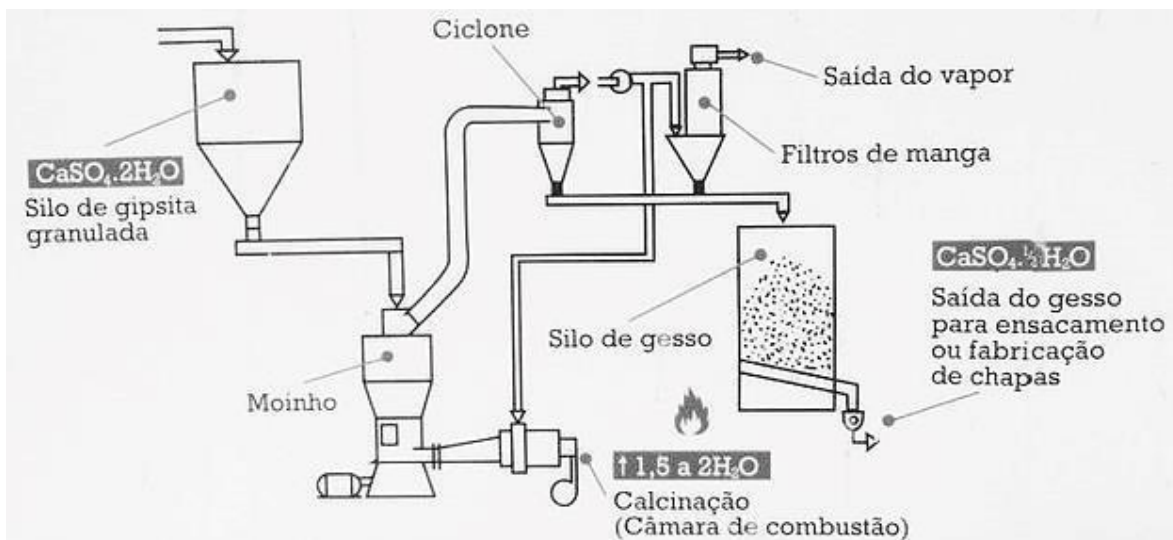
Figura 1 - Fluxograma de produção de gesso no PGA



Fonte: Mendes e Santos (2018).

A Figura 2 representa o processo produtivo do gesso, onde a gipsita passa por um processo de transformação por meio de um aquecimento, mais conhecido como calcinação, que provoca uma reação na qual o sulfato de cálcio hidratado, perde sua molécula de água e transforma-se em sulfato de cálcio semi-hidratado. Em seguida, a gipsita passa por um processo de pulverização para a redução do tamanho das partículas, proporcionando uma queima mais uniforme (SAVI, 2012).

Figura 2 - Fluxograma de um processo de produção de gesso



Fonte: site Elementus Consultoria, (01/06/2017).

3.2.4 Propriedades e Aplicações da Gipsita

Segundo Baltar (2010), através da calcinação, a gipsita perde sua água de cristalização, podendo, então, ser transformada em gesso quando mantém água cristalizada ($\text{CaSO}_4 + 1/2\text{H}_2\text{O}$), ou sulfato de cálcio (anidrita), como representado na Figura 3, perdendo totalmente a água cristalizada. Suas principais aplicações são em: revestimentos, fundição, blocos, tijolos e placas.

Figura 3 - Uma das variedades do mineral Gipsita



Fonte: <http://www.supergesso.com>

Na forma calcinada, o campo de utilização do semi-hidrato (gesso) pode ser dividido em dois grandes grupos: o gesso para construção civil, que pode ser do tipo A (gesso de fundição) ou do tipo B (gesso de revestimento), e o gesso industrial. O gesso de fundição (tipo A) é utilizado para a confecção de pré-moldados de gesso, o gesso de revestimento (tipo B) é utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento, e o gesso industrial é um produto de maior pureza e valor agregado, podendo ser obtido a partir dos semi-hidratos α ou β dependendo da aplicação, como em cerâmica, indústria do vidro, carga mineral, indústria farmacêutica, de coração, giz escolar, bandagens de alta resistência, indústria automobilística, entre outros, como ilustrados nas Figuras 4 e 5 (FERREIRA, 2017).

Figura 4 - Detalhes da utilização do gesso na construção civil



Fonte:<http://www.guiadoconstrutor.com.br>

Figura 5 - Divisórias de ambientes com gesso



Fonte:<http://www.dupladedecoração.com.br>

3.2.5 Compósitos de Gesso

Os compósitos surgiram em meados do século XX. São materiais que tem levado à inovação e aos esforços que se traduzem em aplicações cada vez mais exigentes. Devido à necessidade de se encontrar materiais que supram as deficiências dos existentes e que sejam viáveis economicamente, combinam-se materiais com distintas composições, estruturas e propriedades diversas, separados por uma interface, que quando associados venham a produzir um único dispositivo, com melhores propriedades especiais que nenhum de seus constituintes possui isoladamente. A característica básica dos compósitos é combinar, a nível

macroscópico, pelo menos, duas fases distintas denominadas de matriz e reforço, que podem elevar suas propriedades mecânicas (VILLELA, 2017).

O amplo interesse pelos materiais compostos está ligado a dois fatores: o econômico e o desempenho. O fator econômico vem do fato de se conseguir materiais mais leves com melhor desempenho nas suas características mecânicas. O custo de fabricação de algumas peças em material composto pode ser também sensivelmente menor se comparado com os materiais convencionais. A leveza e as excelentes características mecânicas fazem com que os materiais compostos sejam cada vez mais utilizados dentro de atividades esportivas, aeronáuticas, automobilísticas, entre outros (SCHIONTEK; KOIDE, 2019).

A aplicação dos materiais compostos surgiu inicialmente na área aeronáutica devido à necessidade de diminuição de peso, preservando a robustez dos componentes estruturais. Ultimamente, uma grande variedade de peças em materiais compostos pode ser encontrada nos aviões em substituição aos materiais metálicos: fuselagem, *spoilers*, portas de trem de aterrissagem, portas internas, etc. (SCHIONTEK; KOIDE, 2019). Inúmeros tipos de compósitos são conhecidos por apresentarem altos índices de resistência e rigidez por unidade de peso, mesmo quando submetidos a esforços combinados de tração (ou compressão), flexão; elevado amortecimento estrutural; ausência de corrosão em muitos ambientes agressivos aos metais; e boa tenacidade à fratura em muitos casos.

De acordo com Torres (2013), a função principal que possui uma matriz é a de transferir, ao reforço, solicitações mecânicas e protegê-las do ambiente externo. As matrizes podem ser resinosas (poliéster, epóxi, etc.), minerais (carbono) e metálicas (ligas de alumínio). A escolha entre um tipo de reforço e uma matriz depende fundamentalmente da aplicação que será dada ao material composto, características mecânicas elevadas: rigidez, resistência à ruptura, resistência à alta temperatura, resistência a ambientes agressivos, etc. O custo em muitos casos pode também ser um fator de escolha entre um ou outro componente. Deve ser observada também a compatibilidade entre o reforço e as matrizes.

Diversos tipos de materiais têm sido misturados ao gesso com a finalidade de melhorar suas propriedades mecânicas. Estudos com misturas de polímeros puros, fibras, tem tido uma abordagem de sucesso para se conseguir excelentes resultados. Nas argamassas de gesso pode-se adicionar agregados leves como a vermiculita ou perlita, fibras diversas como pelos de animais, fibras sintéticas, de vidros e fibras

vegetais, favorecidas pelo pH neutro do gesso, aditivos, impermeabilizantes ou hidrofugantes (MACIEIRA, 2011).

Segundo Pereira (2003), é possível encontrar materiais naturais com propriedades que adicionadas à argamassa de gesso contribuem com a redução da permeabilidade, aumento da resistência mecânica, melhora a trabalhabilidade e diminui a quantidade de água na mistura. Segundo Costa (2012) utilizou-se de um cacto "*Opuntia ficus-indica*", existente em abundância nas regiões áridas ou semiáridas do nordeste brasileiro, muito usados como alimentos de animais bovinos e caprinos, para extrair um gel, uma substância viscosa, que permite à planta reter internamente água, aumentando sua resistência às altas temperaturas, chamada de mucilagem. Esta substância quando adicionada às pastas de gesso possibilitou a redução do traço e aumento do tempo de pega, permitindo a elaboração de uma pasta consistente que levou a obtenção de melhores resultados nos ensaios de absorção e flexão.

Conforme Leite (2011), construiu-se uma unidade habitacional para estudo de conforto térmico, utilizando-se blocos feitos com um compósito à base de gesso e EPS (Poliestireno expandido) triturado. Foram realizados ensaios de compressão mínima segundo as normas da ABNT para blocos de vedação. Verificou-se que os mesmos apresentaram boa resistência mecânica; boa resistência térmica; viabilidade técnica e econômica e de materiais; apresentou bom conforto térmico no interior da habitação e teve um aproveitamento ecologicamente correto, evitando descartes em lixões.

Estudos analisaram o compósito do resíduo de gesso da construção civil como material inerte na produção de cerâmica vermelha, efetuando avaliação da influência sobre as propriedades mecânicas de diversos percentuais do resíduo, através do comportamento físico/mecânico do resíduo na argila de fabricação de tijolos, com o intuito de se conseguir um destino ecologicamente correto ao resíduo de gesso da construção civil. Entretanto, o resultado demonstrou que houve um aumento da absorção de água pelos corpos de prova e quando se chegou a uma proporção de gesso de 20% a absorção ficou dentro das especificações técnicas para fabricação de tijolos e telhas. Por outro lado, o aumento do percentual de resíduo de gesso provoca uma queda considerável na resistência mecânica à flexão dos corpos de prova (SOKEN, 2015).

Segundo Macieira (2011), estudou o comportamento das propriedades mecânicas e elásticas de compósitos unidirecionais formados com fibra de carbono e

matriz epoxídica, com o intuito de se verificar o comportamento da tensão máxima em placas conforme a orientação tomada do reforço. Chegando-se à conclusão de que a capacidade de resistência mecânica do material está intimamente ligada ao reforço utilizado do compósito, proporcionado pelo elevado desempenho que as fibras apresentam, bem como pela orientação de bobinamento que é dada a mesma na construção do material.

A matéria-prima fornecida pela natureza muitas das vezes, não apresentam características que são necessárias para uma determinada melhoria e demais aplicações, por isso, existe a necessidade de melhorar esses materiais agregando compósitos que melhorem suas propriedades, como a resistência a tração, flexão, resistências a ataques químicos ácidos e bases, a de formação ao calor, com o intuito de adequá-las a uma aplicação específica (PINHEIRO FILHO, 2018).

Os compósitos são classificados em duas fases. Uma é denominada matriz, que é contínua e envolve a outra, conhecida como fase dispersa, que serve de reforço para a primeira. Em função do material utilizado como reforço, os compósitos podem ser ainda classificados em três grandes grupos, sendo eles: os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais (ROSA, 2019).

Dependendo do material agregado, as propriedades físicas e mecânicas do gesso, podem sofrer alterações positivas ou negativas, sendo o custo de fabricação de algumas peças de gesso composto, ligeiramente menor comparado aos materiais convencionais, principalmente se o agregado for um resíduo (NETO, 2017).

Nesse caso, adicionar compósitos ao gesso pode levar a dois fatores positivos: desempenho e economia. A literatura dispõe de alguns estudos científicos referente a essa aplicabilidade, alguns exemplos podem ser destacados como: adicionar borracha moída ao gesso, melhorando sua característica física e mecânica, (RIVERO et al. 2014) e a utilização de PET mais gesso, na formação de telhas ecológicas, melhorando sua durabilidade (TESKE et al., 2015).

3.3 Cinzas de Carvão Mineral (CCM)

3.3.1 Processo de Formação

A cinza é um resíduo industrial gerado na queima do carvão mineral em usinas

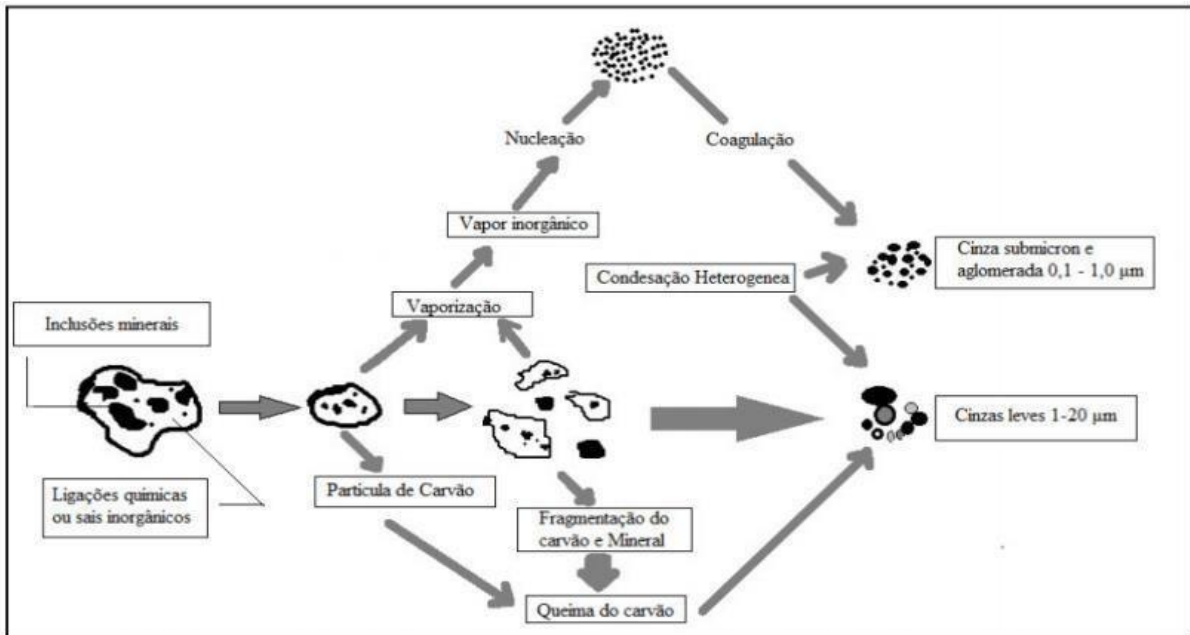
termelétricas, classificada como adição mineral com baixo teor de cálcio (METHA, MONTEIRO, 2014). O pó gerado corresponde de 15-30% de partículas maiores de 45 µm sendo a maioria destas partículas esféricas e sólidas com diâmetro menor que 20 µm. Em função de suas características microestruturais, a cinza volante apresenta pleosferas (parte externa das esferas consideradas partículas ocas) e, em seu interior, partículas amorfas (cenosferas) localizadas internamente (CAMACHO et al, 2018). Grandes quantidades de cinzas são descartadas como subproduto de usinas à carvão. Portanto, existe uma necessidade de reciclar este material residual de maneira a agregar valor a esses resíduos (AHN et al, 2017).

O aproveitamento de resíduos industriais é uma área de estudos promissora, visto que existe uma necessidade de desenvolvimento e/ou otimização de processos de baixo custo que agreguem valores a esses materiais e promovam a redução de impactos socioambientais, principalmente oriundos do seu acúmulo e da sua disposição inadequada (PEREIRA, 2016).

A cinza volante é tóxica, e corresponde à 70% dos resíduos produzidos na geração de vapor e/ou eletricidade a partir de carvão mineral-1,4milhão de toneladas ao ano, no Brasil. Destaca-se que essa utilização de combustível fóssil é a principal no mundo, correspondente a 40% da produção energética; essa realidade deve ser mantida até 2038, segundo a *International Energy Agency* (IEA) (SOUSA; JUNIOR; MAUES, 2018).

Como mostra a Figura 6, a formação das cinzas de carvão está vinculada com uma sucessão de mecanismos desencadeados pela combustão do carvão, onde essas cinzas geradas durante esse processo, são resíduos que tiveram origem na queima do carvão pulverizado na câmara de combustão, formada à partir dos componentes não combustíveis do carvão, como também de partículas não queimadas devido à uma combustão incompleta (CARVALHO, 2017).

Figura 6 - Processo de formação das cinzas durante a combustão do carvão



Fonte: Knudsebm (2001).

3.3.2 Disponibilidade e Aplicações das Cinzas de Carvão Mineral

O carvão mineral utilizado como fonte de energia para as termelétricas é um combustível fóssil natural, constituído principalmente por carbono e hidrogênio, além dos outros elementos como enxofre, nitrogênio, oxigênio e halogênios.

A qualidade do carvão mineral depende de alguns fatores, como a quantidade do elemento carbono presente no carvão que determina o seu potencial para fins energéticos, em contra partida a menor qualidade desse material será definida quando o mesmo apresentar maior teor de umidade e impurezas como pirita, silito entre outros (IZIDORO, 2013).

De acordo, com Siqueira 2011, no decorrer da Revolução Industrial, houve um aumento significativo na utilização do carvão mineral, como fonte geradora de energia para as máquinas e locomotivas. Na contemporaneidade, 40% da eletricidade que é gerada mundialmente é proveniente do carvão mineral.

A reciclagem de cinzas volantes de carvão pode ser uma boa alternativa e também a eliminação e o alcance de benefícios econômicos e ambientais significativos. A taxa de utilização média global de cinzas volantes é estimada em cerca de 25% (BHATTACHARJEE; KANDPAL, 2002; WANG, 2008).

Na utilização atual foram estimadas em 50% para os EUA, mais de 90% para a UE e 60% para a Índia. Para a China, essa taxa vem aumentando anualmente, mas permaneceu em torno de 67% nos últimos anos. Espera-se que atinja 70% em 2015. No entanto, há uma contradição na taxa de utilização relatada na China; O Greenpeace informou que a utilização prática da taxa é de apenas 30% (GREENPEACE, 2010).

Seja qual for o número exato, é evidente que uma proporção significativa de cinzas volantes de carvão será deixada sem tratamento, e se faz necessário desenvolver métodos para suprir essa necessidade (XI, et al, 2015).

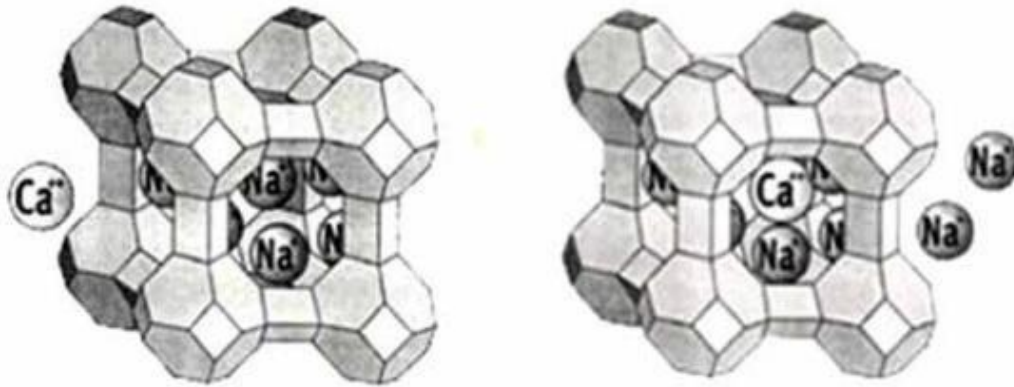
Estima-se que são gerados mais de 3 milhões de toneladas de cinzas por ano no Brasil, sendo que aproximadamente 80% deste resíduo são cinzas leves e 20 % são cinzas pesadas. Desse total cerca de 90% é produzido por usinas termelétricas enquanto o restante é produzido por outros seguimentos indústrias (TOLMASQUIM, 2016). Apesar da grande quantidade gerada, apenas 30% dessas cinzas são reaproveitadas. Seu principal destino é a indústria cimenteira e pavimentação de estradas. O restante é descartado em aterros especificados pelas agências ambientais ou incorporados a minas de carvão mineral desativadas (ROCHA et al., 2012). Material incombustível e pozzolânico, as cinzas de carvão mineral podem ser adicionadas ao gesso na preparação de misturas especiais (IATI, 2016) e blocos pré- moldados corta-fogo.

De acordo com Peron et al. (2017), cerca de 20% das cinzas volantes produzidas durante a combustão do carvão tem diversas finalidades, como para produção de cimento Portland pelas indústrias cimenteiras. Com o avanço dos estudos foram encontrando outras utilidades para esse resíduo, entre eles está o melhoramento do solo, a utilização nas indústrias de cerâmica, catálise e síntese de zeólitas. A síntese zeolítica por sua vez, vem ganhando destaque ao proporcionar maior valor ao produto final e a possibilidade de redução dos impactos ambientais gerados, por disposição inadequada desse resíduo.

As zeólitas são alumíniossilicatos hidratados com uma estrutura tridimensional composta de tetraedros de $[AlO_4]$ e $[SiO_4]$, caracterizada por um sistema regular de canais e cavidades, onde se encontram íons de compensação, moléculas de água ou outros adsorbatos e sais (Figura 7). Essas possuem grande capacidade de adsorção devido à uma estrutura microporosa que funcionam como

peneiras moleculares (PERON, et al, 2017).

Figura 7 - Estruturas zeolíticas



Fonte: <http://www.br.all.biz/zelita-para=purificacao-de-gases-adsorcao>.

3.3.3 Propriedades das Cinzas de Carvão Mineral

As propriedades físicas e químicas das cinzas volantes, variam consideravelmente de uma usina termelétrica para outra, por haver grande variedade química entre os carvões e as jazidas. Cinzas com altos níveis de carbono, são resultado de perdas no processo de ignição e dos resultados incompletos dos processos de combustão. Estudos mostram, porém, que a qualidade das cinzas tem melhorado progressivamente como passar dos anos (MEYER, 2009; RECENA, 2011; WITZKE, 2018).

Com o aumento da produção desses resíduos, a indústria de construção civil tem estudado novos meios de reaproveitamento desse material, com o objetivo de diminuir o descarte inapropriado desse resíduo, procurando adequar-se aos projetos de proteção ao meio ambiente (PEREIRA, 2016).

A resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais causados por esses resíduos. O Projeto de Gerenciamento de Resíduo da Construção Civil (RCC), estará à disposição dos grandes geradores e terá como objetivo estabelecer os procedimentos necessários.

3.4 Critérios para Classificação de Materiais Corta-Fogo

A Associação internacional de Serviços de Incêndio e Resgate (CTIF), afirma que cerca de um terço de todas as ocorrências registradas pelo mundo são em prédios e locais com alta concentração de pessoas, por essa razão o setor de construção civil procura estudar e aperfeiçoar métodos de combate a esse fenômeno com o objetivo de evitar e minimizar os danos causados por esse fator de risco. Diversos meios de combate ao incêndio vêm sendo estudados e testados quanto a sua eficiência, entre eles, a resistência ao fogo de paredes, portas e móveis projetadas com materiais de efeito corta fogo como o gesso e as cinzas do carvão mineral que tem como intuito minimizar a propagação e danos causados por esse fenômeno natural, como também o baixo custo do material, a facilidade e agilidade de instalação (PILOTO; RODRIGUES; SILVA, 2019).

Na indústria da construção civil, os materiais utilizados nos revestimentos internos e externos da construção eram de fundamental importância para a segurança contra incêndios, pois a composição do material utilizado pode minimizar a propagação do fogo. Com isso, algumas informações devem ser analisadas para utilização desses materiais de acabamento e revestimento, como a velocidade de propagação superficial das chamas, quantidade de calor e fumaça desenvolvida e toxicidade (ERMENEGILDO, 2014).

Taylor (2004) e Petrucci (1992), questionaram a eficiência do gesso no combate ao fogo, mas enfatizam que a utilização de material à base de gesso na construção civil realmente proporciona o equilíbrio da temperatura, trazendo conforto térmico aos ambientes construídos, sem implicar gastos exagerados de energia.

Porém, no processo de calcinação da gipsita, seguindo a reação endotérmica, o gesso endurecido quando aquecido começa a perder água acima de 100°C. Para Peres, Benachour, Santos (2008), tem-se um consumo de calor e, ao mesmo tempo, estabilização da temperatura, até que toda a água de cristalização seja liberada. Belmiloudi e Meur (2005), lembram que são duas reações endotérmicas de desidratação. Neste processo, durante o tempo que o gesso está liberando água, a sua temperatura não ultrapassa 140 °C, o que o caracteriza como um elemento corta fogo (FERREIRA 2017; PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008).

A NBR 10636 (1989), que aborda paredes divisórias sem função estrutural (Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio) estabelece alguns critérios que devem ser avaliados durante o teste para determinação da resistência ao fogo de paredes, como estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico, caracterizada pela transmissão de calor da superfície exposta para a não exposta ao fogo. A temperatura da superfície não exposta, segundo a referida NBR não deve ultrapassar o limite de 140°C, ou seja, a estabilidade estrutural que é caracterizado pela resistência da parede em permanecer intacta, sem desmoronar, durante todo o teste. Dessa forma, pode-se caracterizar experimentalmente quando um material apresenta resistência ao fogo – propriedade corta-fogo.

De acordo com o atendimento a cada um dos critérios de resistência ao fogo, o corpo de prova se enquadrará em uma ou mais das seguintes categorias: corta-fogo ou para-chamas e a cada categoria ao fogo é associado um grau de resistência ao mesmo, expresso pelo tempo de ensaio durante o qual os corpos-de-prova satisfazem aos critérios de resistência correspondente à sua categoria. Esses graus de resistência são expressos em minutos e os resultados do ensaio deve fornecer a classificação do corpo-de-prova segundo a categoria e o grau de resistência ao fogo, se os critérios de resistência referentes a quaisquer das duas categorias tiverem sido atendidos.

No entanto a norma fala da aparelhagem, onde os corpos de prova são submetidos à um forno do programa térmico padrão e às condições de pressão constantes, o que difere do nosso arranjo experimental proposto na figura 8, pois não há norma específica para esse arranjo, contudo o experimento não descaracterizou os resultados de propriedade corta-fogo do compósito gesso e cinza de carvão mineral, propriedade essa também referenciada no Decreto Estadual nº 38.069 de 14/12/1993 (SÃO PAULO, 1993).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10636 - Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

AL-HANAKTAH, M. N. et al., Production of Plaster from Gypsum Deposits in South Jordan: Improvement of the Setting Time. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, v.49, n.3, p. 293-302, 2014.

AVELAR, T. C. Otimização da produção de pré-moldados de gesso de alta resistência a partir de gesso de baixo desempenho mecânico, 88 p. 2012. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife/PE.

BALTAR, L. M.; BALTAR, C. AM. EFEITO RETARDANTE DO CMC NO GESSO ALFA. In.: II Simpósio Minerais Ind. do Nord, p. 215-225, 2010.

BARBOSA, A. A.: FERRAZ, A. V.: SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do polo do Araripe. *Cerâmica*, v. 60, p. 501-508, 2014.

BELMILOUDI, A.; MEUR, G.L. Mathematical and numerical analysis of desydration of gypsum plasterboards exposed to fire. *Elsevier: applied mathematics and computation* 163, p. 1023 -1041, 2005.

BERENGER, A. et al., Effect of multiphasic structure of binder particles on the mechanical properties of a gypsum-based material. *Construction and Building Materials*, v.102, p. 175-181, 2016.

CAMACHO, A.L.D.; CAMACHO, D.L.D.; MANCIO, M. Evaluation of the increase fly ash reactivity through the sonochemistry method. *Materials*, v.23, n.3, 2018.

CARVALHO, W. C. et al. Gerenciamento sustentável das cinzas da combustão de carvão mineral: um estudo de caso de uma termoelétrica em São Luís-MA, p 81 2017.

CHO, H.: Park, J-Y. Development of a leaching assessment framework for the utilization of coals at South Korean mine reclamation sites. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, p.1-11, 2018.

COSTA. A. C. S. S. O Uso do Cacto na Construção Civil: Mucilagem Adicionada a Componentes Construtivos. Monografia apresentada à Universidade Federal do Semi-Árido – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas. Mossoró – RN; 50 p. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Sumário Mineral 2015. Brasília: DNPM, 2015, 146 p.

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

ERBS, A. et al., Properties of recycled gypsum from gypsum plasterboards and commercial gypsum throughout recycling cycles. *Journal of Cleaner Production* v.183, p. 1314-1322, 2018.

EPA. Hazardous and Solid Waste Management System Identification and Listing of Special Wastes; Disposal of Coal Combustion Residuals from Electric Utilities: Proposed Rules. 2008.

ERMENEGILDO, M.I. Aplicação da Análise de Modos e Efeitos de Falha – FMEA – Para Avaliação de Situações de Riscos no Projeto de Prevenção de Incêndio da Casa do Estudante Universitário (CEU-PR). Monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 61p. Curitiba, 2014.

FERREIRA, F. C. Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Pólo Gesseiro do Araripe. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife/PE. 2017, p 200.

GRANJA, C.V.A.; CAVALCANTE, E.P.; CAFÉ FILHO, E.P.; SIQUEIRA, M.F.; NASCIMENTO, W., Degradação ambiental: exploração de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe, *Id onLine Rev. Psic.* V.11, N. 36. (2017). GENCEL O.; DIAZ, J.J.C.; SUTCUC, M.; KOKSAL F.; ALVAREZ, R.; MARTINEZ-BARRERA G.; BROSTOW, O., Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. *Energy and Buildings* 70 (2014) 135–144.

GONÇALVES, I.; FERRAZ, A. Estudo do Efeito de Materiais Impermeabilizantes de Origem Vegetal na Pasta de Gesso. *Evolvere Scientia*, v. 3, n. 1, p. 76–83, 2014.

IZIDORO, J C. Síntese E Caracterização De Zeólita Pura Obtida A Partir De Cinzas Volantes de Carvão. 2013. 148 p. TESE (CIENCIAS NA AREA DE TECNOLOGIA NUCLEAR) - Universidade DE SAO PAULO, SAO PAULO, 2013.

KADIYALA, A.; KOMMALAPATI, R.; HUQUE, Z. Evaluation of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Different Biomass Feedstock Electricity Generation Systems. *Sustainability*, v. 8, n. 11, p. 1181, 2016.

LEITE, J. M. C. C. Compósito para Fabricação de Blocos para Construção de Casas: Estudos Térmicos e de Materiais. Dissertação de Mestrado. Engenharia Mecânica Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011, p. 83.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. *Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE)*. *EngSanit Ambient*, v.18 n.2, p 169-176, abr/jun 2013

LUSHNIKOVA, N.; DVORKIN, L. Sustainability of gypsum products as a construction material. In: *Sustainability of Construction Materials (Second Edition)*.p. 643-681. 2016.

MACIEIRA, R. P. Produção de compósito do tipo gesso-polímero para aplicação na fabricação de painéis externos em edificações. 96 p, 2011. Dissertação. (Mestrado em

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

Desenvolvimento de Processos Ambientais), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Recife/PE.

MELO, K. K. S. et al. Caracterização química e mineralógica dos resíduos da mineração de gipsita no semiárido pernambucano. HOLOS, v. 33, n. 6, p. 194-200, 2017.

MENDES, K. C., SANTOS, A. V. A. Uma avaliação do uso da Energia Solar Térmica como calor de processo na produção de gesso beta do Pólo Gesseiro do Araripe. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018, 10 p.

MELO, D.C.P. Processo de calcinação da gipsita/resíduo em forno piloto contínuo para a produção de gesso beta reciclável. 177p, 2012. Tese (doutorado), Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco – Recife/PE.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M.. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MEYER, C. The greening of the concrete industry. Cement and Concrete Composites. v. 31, n. 8, p. 601-605, 2009.

MONÇÃO JUNIOR, A. R. Otimização das condições experimentais na desidratação da gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável. 2008. 66 p. 2008. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Pernambuco, Recife.

MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. John wiley& sons, 2017.

NETO, M.G.P. Produção de Pré-Moldados por Prensagem Uniaxial à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral. 2017, p 98. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; DOS SANTOS, V. A. O gesso: produção e utilização na construção civil. 83 p, 2008.

PERON, D.; SOUZA, M. O.; SOUZA, G.; FERIS, L.A.; MARCILIO, N. R. Síntese de Zeólita do tipo ZSM-5 a partir de Cinzas Volantes de Carvão Mineral de Candiota – RS. V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Criciúma -SC, p 9, 2017.

PEREIRA, L. F. S. et al. Estudo da reciclagem de cinza volante para produção de agregado sintético utilizando reator de leito fixo. 98 p, 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará.

PINHEIRO FILHO, João Fernando Henriques. Obtenção e caracterização de um compósito de matriz de resina poliéster e gesso. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, p 43 ,2018.

PILOTO, P. A. G.; RODRIGUES, J. P.; SILVA, V. P. **Advances in**

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

firesafetyengineering. Selected papers from the 5th Iberian-Latin-American Congress in fire safety, cilasci 5, July 15-17, 2019, Porto, Portugal.

REAL, J.C.C. Determinação de condições operacionais adequadas para produção de pré-moldado de gesso de alta resistência mecânica. 2009. Dissertação. (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais). Universidade Católica de Pernambuco, Recife/PE.

RAFAEL, E. O. et al., Efecto de variables de preparación de moldes de yeso para colado tradicional de muebles sanitarios. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, v.56, p.263-272, 2017.

RECENA, Fernando Antônio Piazza. Método de Dosagem de Concreto pelo Volume de Pasta Com Emprego de Cinza Volante. 2011. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia. Porto Alegre. 2011.

RODRIGO, H. G. et al., Gypsum plaster waste recycling a potential environmental and industrial solution. *Journal of Cleaner Production*, v.164, p. 288-300, 2017.

ROCHA, C. A. F. J.; SANTOS, S. C. A.; SOUZA, C. A. G.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F. Síntese de zeólitas a partir de cinza volante de caldeiras: caracterização física, química e mineralógica. *Cerâmica*, v. 58, n. 345, p. 43–52, 2012.

ROSA, Fábio Severo da et al. Desenvolvimento de material de isolamento térmico compósito à base de sabugo de milho. 2019.

RIVERO, A.; BÁEZ, A.; NAVARRO, J. New composite gypsum plaster – ground waste rubber coming from pipe foam insulation. *Construction and Building Materials*, v. 55, n. 2014, p. 146–152, 2014.

SOKEN. E. M. Reaproveitamento do Gesso Descartado na Construção Civil em Cerâmica Vermelha. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 42 p. Londrina, 2015.

SAVI, O. Produção de placas de forro com reciclagem do gesso. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá, p 233, 2012.

SCHIONTEK, C.M; KOIDE, R. M. Utilização de Software livre na modelagem da flambagem de placas de materiais compósitos. Programa de apoio à iniciação científica – PAIC 2018/2019.

SIQUEIRA, J S. Reciclagem de resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas. 2011. 92 p. Dissertação de pós graduação (Engenharia química) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

SITE ELEMENTUSCONSULTORIA.COM. Polo gesseiro de araripe, 1 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.elementusconsultoria.com/post/polo-gesseiro-do-araripe-produ%C3%A7ao-do-gesso-e-a-reutiliza%C3%A7%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-parte-2-de-2> Acessado em: 10/01/2020.

SITE SUPERGESSO.COM. Gipsita in Natura. Disponível em:

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

<http://www.supergesso.com/produtos/produtos-primarios/gipsita-in-natura/> Acesso em: 10/01/2020.

SOUZA, J.A.S, JUNIOR, C.A.F.R., MAUES, T. C. L. Hydrothermal synthesis of zeolites from fly ash of mineral coal: application of ion ammonium adsorption. Eng. Sanit. Ambient. v. 23, n.5, p 8 2018.

TESKE, S.; GONÇALVES, P. F. A.; NAGALLI, A. Desenvolvimento de modelo conceitual de telha ecológica a partir de resíduos de PET e gesso da construção. Cerâmica, v. 61, n. 358, p. 190–198, 2015.

TORRES, R. B. Desenvolvimento de Compósito Híbrido de Fibra de Vidro e Micropartículas de Sílica e Cimento para Uso em Caneleiras. Dissertação Programa de Mestrado. Universidade Federal de São João Del-Rei. São João Del-Rei. 2013,p. 70.

TOLMASQUIM, M. T.; Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear; EPE; Rio de Janeiro, 2016.

TORKITIKUL, P. et al., Utilization of coalbottomashto improve ther malinsulation of construction material. Journal of Material Cycles and Waste Management, v.19, n. 1, p. 305-317, 2017.

VASCONCELOS, S D. Avaliação das cinzas de carvão mineral produzidas em usina termelétrica para a construção de camadas de pavimentação. 2018. 135 p. Dissertação de mestrado (engenharia de transportes) - universidade de são paulo, fortaleza, 2018.

VIEIRA, Euselia Paveglio et al. O impacto nos custos ambientais dos resíduos gerados na construção civil. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC, p 15, 2017.

WHAN-SEUNG, A. *et al.* Synthesis of nanoporous materials via recycling coal fly ash and other solid wastes: A mini review. Chemical Engineering Journal, v.317, p. 821-843, 2017.

WITZKE, F.B. Propriedades de concretos estruturais contendo cinza volante em substituição parcial ao cimento portland. Centro de Ciências Tecnológicas – CCT, Programa de Pós Graduação em Eng. Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, p 108. 2018.

XI, Y.Q. et al.A comprehensive review on the applications of coal fly ash. Earth-Science Reviews, v.141, p. 105-121, 2015.

ZEÓLITA para purificação de gases, adsorção de vapores e outros usos, ALLBIZ, 2010. Disponível em: Acessado em: 29 dez.2019 as 22:53.

ZHANG, B.: POON, Chi Sun. Use of furnace bottom ash for producing lightweight aggregate concrete with thermal insulation properties. Journal of cleaner production, v. 99, p. 94-100, 2015.

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

ZHU, C. et al. Research on degradation mechanisms of recycled building gypsum. *Construction and Building Materials*, v. 173, p. 540-549, 2018.

CAPÍTULO II

ARTIGO A SER ENVIADO À REVISTA *Journal of Cleaner Production*

A Revista **Journal of Cleaner Production** é uma revista internacional, transdisciplinar com foco em Produção mais limpa, ambiental e sustentabilidade e prática.

Público: Gerentes, engenheiros, designers de todas as indústrias de processo e de serviços; cientistas acadêmicos e de pesquisa especializados em produção mais limpa, sustentabilidade regional, e educação para o desenvolvimento sustentável; Consultores, líderes reguladores, formuladores de políticas, planejadores e ONG's. A Revista Científica tem a classificação Qualis A1, definida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), como o mais alto nível.

Fator de Impacto: De 2018: 6.395 Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2019

EFEITO DA DOSAGEM DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL NA PROPRIEDADE DO GESSO COMO MATERIAL EXTINTOR DE CORTA-FOGO

SOUSA, J. A. C.; PESSOA, N.F.; SANTOS, L.B.; SANTOS, V. A.

RESUMO – Realizou-se a análise térmica de um bloco de divisória de gesso para verificação das modificações sofridas pelo material com a incorporação ao gesso de cinzas de carvão mineral (CCM) . Os experimentos foram realizados monitorando-se a temperatura ao longo de diferentes distâncias horizontais em relação ao ponto de contato com uma chama de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) com temperatura média de $605 \pm 4^{\circ}\text{C}$. Utilizou-se um percentual considerável de 40% de cinzas de carvão mineral, na composição de blocos de divisórias internas, que possibilitarão edificações mais seguras e sustentáveis, além de está em acordo com norma brasileira que permite temperatura abaixo de 140°C após 120 minutos de teste. Confirmando a propriedade corta-fogo do gesso.

Palavras-chave: Gesso; cinzas de carvão mineral; Análise térmica; regressão não-linear; Corta-fogo; Passivo ambiental.

2. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade de edificações também deve contribuir para reduzir impactos ambientais negativos antrópicos. Por essa razão, a reciclagem das cinzas de carvão mineral apresenta-se como uma tendência mundial para destinação final desses resíduos oriundos da queima do carvão em termelétricas, como também para ser agregado economicamente na área da construção civil (SANTAREM, 2015).

Quando se respeita os limites exigidos pelas normas construtivas e a interação com demais sistemas de uma edificação, as divisórias internas construídas em blocos de gesso apresentam vantagens significativas quando comparadas à construção de divisórias de diferentes materiais, tais como blocos cerâmicos ou de concreto. Os blocos de divisórias de gesso apresentam resistência mecânica compatível, podem ser aplicados sobre piso acabado sem precisar decapar, podem ser removíveis facilmente sem deixar marcas, apresentam maiores isolamentos térmicos e acústicos por unidade de espessura e promovem menor peso sobre os elementos estruturais. Quanto às características econômicas destacam-se uma maior produtividade e menor custo global de vedações, possibilita maior área interna dos cômodos, além de menor utilização de área de canteiro na construção. Do ponto de vista ambiental e de sustentabilidade, destacam-se uma menor produção de CO₂ para obtenção dos componentes em gesso, uma menor quantidade de energia (kW/h) utilizada nas etapas de transporte e produção dos materiais constituintes (PIRES SOBRINHO, 2018; ROCHA, 2007). A resistência ao fogo pode ser conceituada como o tempo durante o qual os elementos de uma edificação, sujeitos a uma elevada temperatura, mantém sua estabilidade ou integridade. Além disso, esses elementos, quando utilizados como finalidade de divisórias, não permitirão que ambientes contíguos recebam esta elevação de temperatura não permitindo a passagem de gases quentes.

Segundo Berto (1988) um corpo de prova é considerado satisfatório quando o mesmo não apresenta na face não exposta ao fogo um aumento de 140°C e aumento de temperatura em qualquer outro ponto superior a 180°C, ambos em relação à temperatura ambiente.

A norma NBR 10636 prescreve um método de ensaio, classifica, gradua e resulta quanto a resistência ao fogo, as paredes e divisórias sem função estrutural,

assim como os valores regulamentados também na tabela da legislação do Decreto Estadual nº 38.069 de 14/12/1993 (SÃO PAULO,1993).

Tabela 1 - Critérios de resistência ao fogo segundo o Decreto Estadual do Estado de São Paulo

Tipo	Resistência ao fogo (min)	Aplicação
Paredes de compartimentação	≥ 120	Edificações com área $\geq 750\text{m}^2$
Paredes externas	≥ 120	Edificações com área $\geq 750\text{m}^2$ e parede com altura $>12\text{m}$
Paredes de subdivisão de espaços	≥ 120	Unidades autônomas no mesmo pavimento
Paredes de enclausuramento	≥ 120	Paredes de enclausuramento de escadas, shafts, dutos, monta-cargas, etc

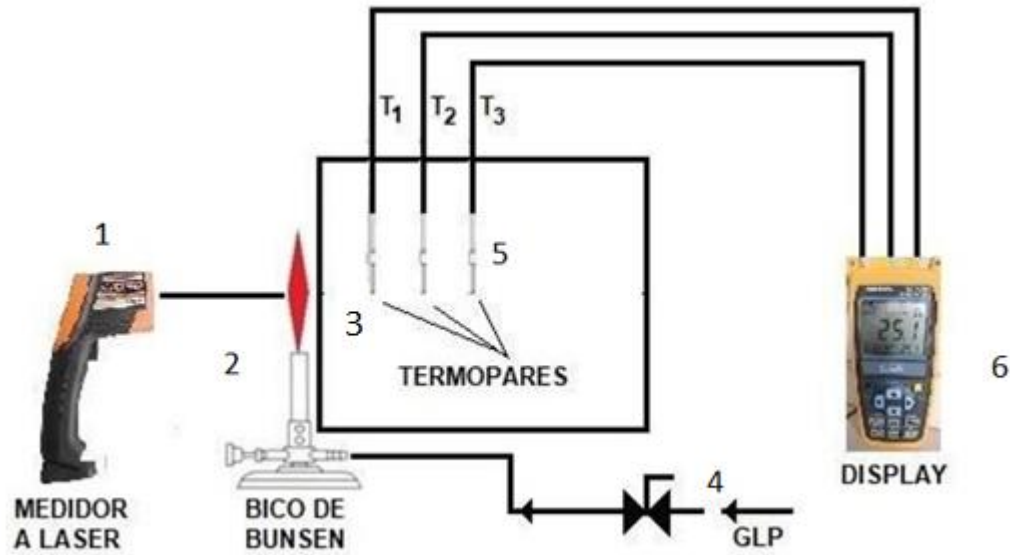
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Arranjo Experimental

O arranjo experimental utilizado para realização da análise térmica dos corpos de prova cúbico, colocados em contato de uma chama em uma de suas superfícies, é ilustrado conforme o esquema da Figura 8. Basicamente os corpos de prova 50 mm de aresta—moldado em forma para testes de resistência à compressão em gessos, foi produzido da mistura entre gesso e cinza de carvão mineral. Durante os testes preliminares um corpo de prova era submetido ao contato com uma chama produzida pela combustão de GLP em uma de suas superfícies. Os percentuais de cinzas de carvão mineral na confecção dos diferentes corpos de prova foram de 20%, 40% e 60%. Três termopares foram dispostos no interior de cada corpo de prova para registros das temperaturas, separados da superfície externa do corpo de prova (em contato com a chama) e entre por uma distância de 10 mm. O sistema de aquecimento foi confeccionado para obtenção de uma temperatura de chama média de $605 \pm 4^{\circ}\text{C}$ Para isso, a chama de GLP era obtida pela abertura de uma válvula esfera, do tipo $\frac{3}{4}$ de volta, em série com um com o bico de Bunsen regulado para entradas de ar e GLP, calibradas para manter constante as mesmas condições operacionais em todos os experimentos.

A temperatura na superfície externa do corpo de prova foi monitorada com auxílio de um medidor à laser de temperatura, como mostra a Figura 8 e o registro de temperaturas no interior do corpo de prova durante cada experimento foi realizado com auxílio de três termopares tipo “K”, ou seja, da chama à uma distância T1, 10 mm; T2, 20 mm e T3, 30 mm, observando-se o comportamento da temperatura nesses três primeiros pontos através de um display de medição IMPAC; TENMARSTM-744R.

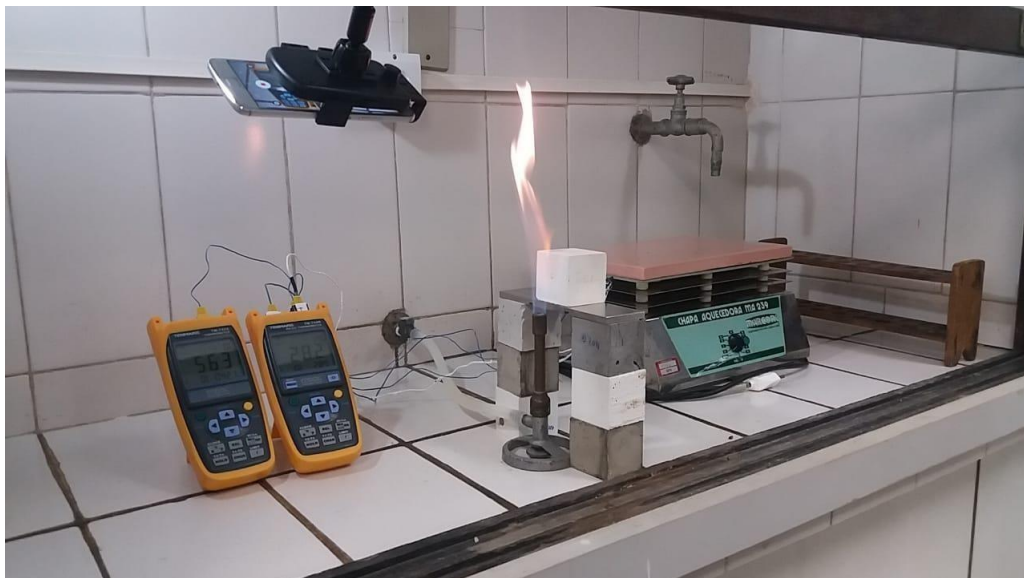
Figura 8 - Arranjo experimental para a medição das temperaturas externa e internas: 1) Medidor de temperatura laser; 2) Bico de Bunsen; 3) Corpo de Prova; 4) Tubulação de GLP; 5) Termopares; 6) Display de Medição de Temperatura



Fonte: Autoria própria, 2020

A Figura 9 ilustra uma fotografia dos componentes do referido arranjo experimental disposto sobre a bancada de testes. Durante os testes foram mantidas constantes as condições ambientes de temperatura (22°C) e de pressão (760 mmHg)

Figura 9 - Fotografia da bancada de testes



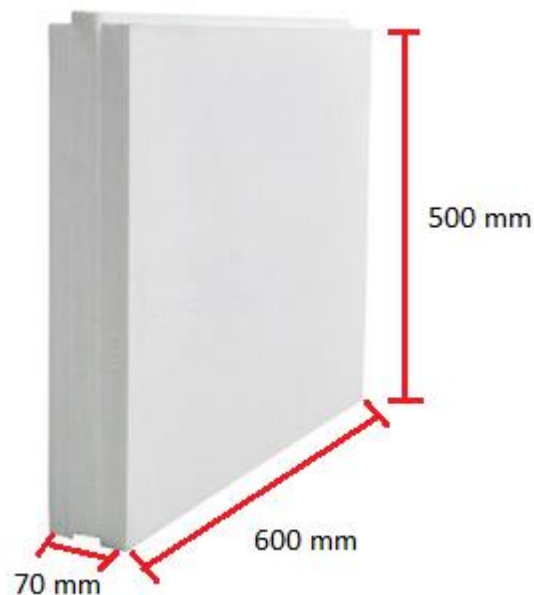
Fonte: autoria própria, 2020

Durante à realização dos testes preliminares com os corpos de prova, notou-se que o tempo para se atingir 140°C na face oposta do corpo de prova, mesmo com cubos confeccionados apenas com gesso, era menor que 120 minutos. Foi então que uma análise precisa da situação mostrou a necessidade de se realizar os referidos testes com corpos de prova substituídos por blocos de divisórias compactos de dimensões comerciais. Ou seja:

- Espessura do bloco: 70 mm;
- Comprimento do bloco: 600 mm;
- Altura do bloco: 500 mm.

Dessa forma os corpos de prova foram substituídos por bloco de divisória interna compactos (Figura 10) confeccionados apenas em gesso e com 20%, 40% e 60% de cinzas de carvão mineral, gentilmente produzido nas instalações de uma empresa parceira da equipe desta pesquisa.

Figura 10 - Bloco de divisória interna do tipo compacto confeccionado com gesso e cinzas de carvão mineral. Espessura/ comprimento/ altura (70 mm/ 600 mm/ 500 mm, respectivamente).



3.2 Caracterização do Gesso e da cinzas de carvão mineral

O gesso em pó utilizado nos testes foi do tipo beta comercial, de fundição, obtido de uma fábrica de gesso pertencente ao Polo Gesseiro do Araripe. Os testes de caracterização do referido gesso foram guiados pela norma NBR 12127 (ABNT, 2019a). No estado de pasta têm-se teores de água livre, de água de cristalização, de óxido de cálcio e de anidrido sulfúrico, consistência e tempos inicial e final de pega (ABNT, 2019b; ABNT, 2019c); no estado endurecido fez-se avaliações quanto a dureza, e resistência à compressão (ABNT, 2019d).

As cinzas de carvão mineral utilizadas foram cedidas por uma usina termoelétrica à carvão mineral, localizada no Estado do Ceará-Brasil, localizada próxima ao porto de Pecém. Utilizou-se um lote de material contendo uma mistura de cinzas pesadas e cinzas de pátio (leves). Em função da inexistência de normas para caracterização de cinzas de carvão mineral, foram utilizadas as normas: NBR 12127, NBR 12128 e NBR 12130.

4. Metodologia de Trabalho

As equações polinomiais de variação de temperatura em função do tempo, foram obtidos com os dados experimentais para obtenção de modelos por regressão não-linear. Dessa forma, além de se determinar o comportamento entre as temperaturas em diferentes pontos do bloco de divisória em função do tempo, modelou-se também a determinação do percentual de redução de temperatura em função do tempo.

Para melhor quantificar o efeito do teor de cinzas de carvão mineral na propriedade corta-fogo do gesso, foram correlacionadas percentualmente as temperaturas nas posições 1, 2 e 3 nos blocos com a temperatura na superfície do mesmo em contato com a chama produzida com a combustão do GLP, durante os experimentos. As reduções percentuais foram calculadas utilizando-se a seguinte expressão:

$$\Delta T = \left\{ 100 - \left[\frac{(T_0 - T_i)}{T_0} \right] \times 100 \right\} \%$$

Em que:

ΔT - Variação de temperatura, %

T_0 - Temperatura na superfície do corpo de prova, °C

T_i - Temperatura na posição i ($i = 1, 2$ e 3) do corpo de prova, °C

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das temperaturas medidas durante os experimentos com os blocos de divisória interna, foram obtidos de uma média de cinco valores. Aos dados experimentais foram aplicados critérios de ANOVA e Tukey para validação estatística dos modelos, dentro de um intervalo de confiança de 95% (CALADO; MONTGOMERY, 2003). Para uma temperatura de chama da ordem de $605 \pm 4^\circ\text{C}$, a indicação de um material corta-fogo, segundo a norma paulista, deve-se obter após 120 minutos de experimentos uma redução percentual de 23%.

As Figuras de 11 a 14 esboçam os comportamentos das temperaturas em função do tempo, nas posições dos termopares 1, 2 e 3, para blocos de divisória interna confeccionados com teores de cinzas de 0% (apenas gesso), 20%, 40% e 60%. O aumento da temperatura em cada ponto (1, 2 e 3), foi ajustado a um polinômio de grau 2 em função do tempo de contato da face externa do bloco de divisória de 70 mm com uma chama produzida por um bico de Bunsen alimentado por GLP. Conforme a Figura 10, as dimensões que separam o ponto da superfície do bloco em contato com a chama são os pontos 1, 2 e 3 internos através dos termopares à 15 mm; 30 mm e 45 mm respectivamente.

Figura 11 - Temperaturas no bloco confeccionados apenas com gesso 100% e registradas pelos termopares nas posições 1,2 e 3, em função do tempo.

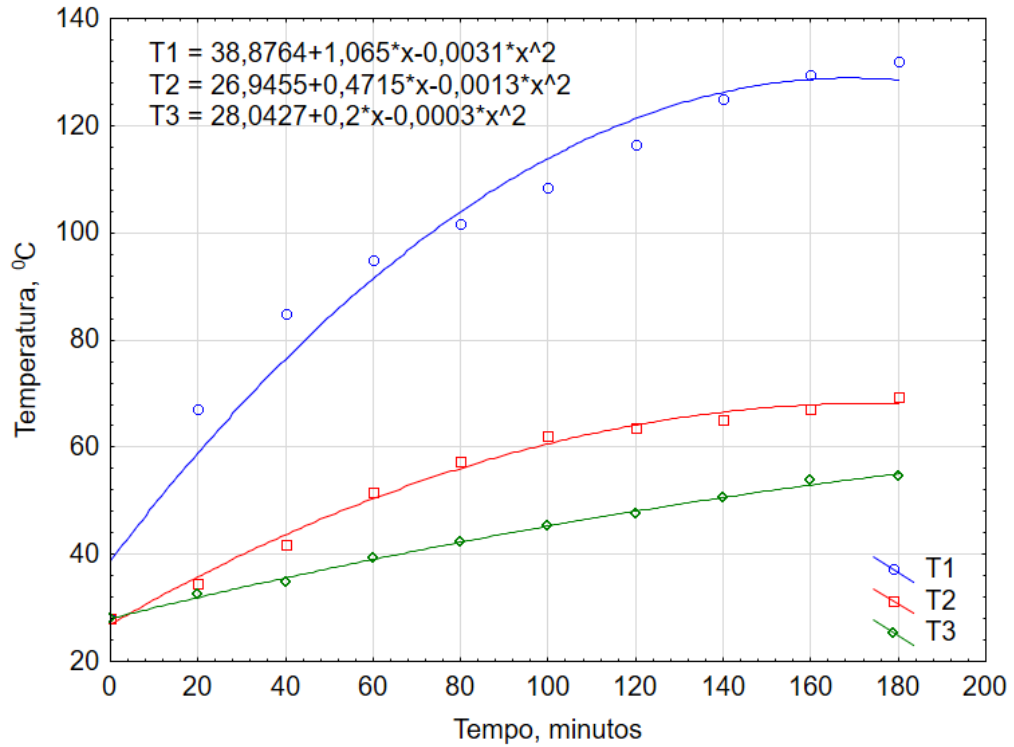


Figura 12 – Temperaturas no bloco confeccionado com gesso e teor 20% de cinzas de carvão mineral

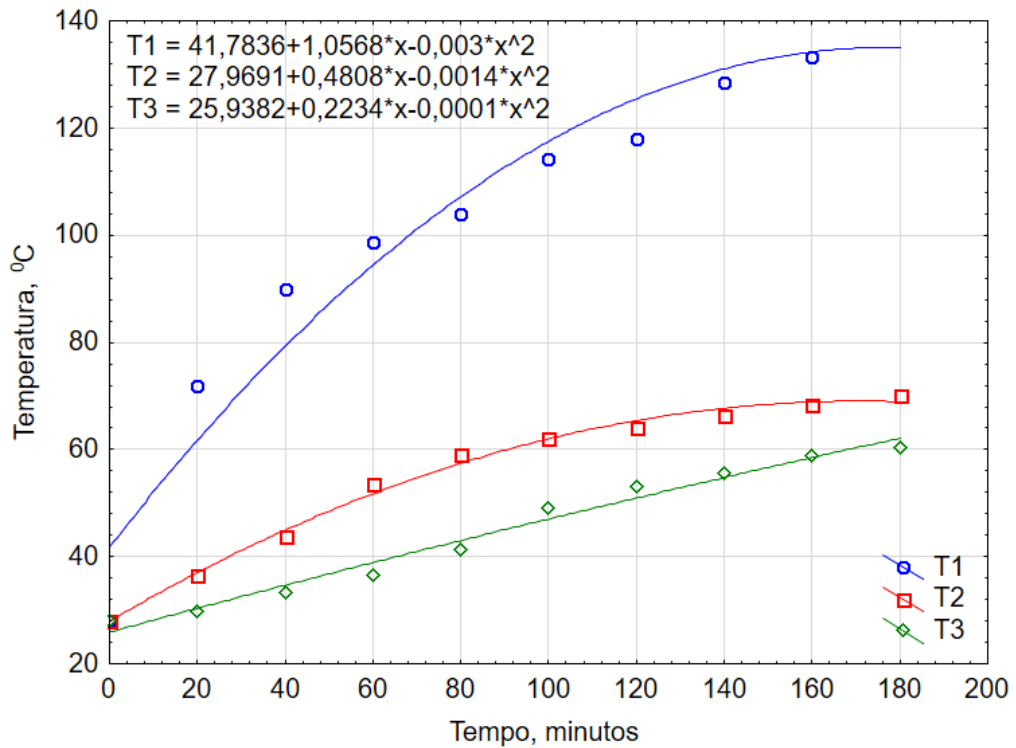


Figura 13 - Temperaturas no bloco confeccionado com gesso e teor de 40% de cinzas de carvão mineral

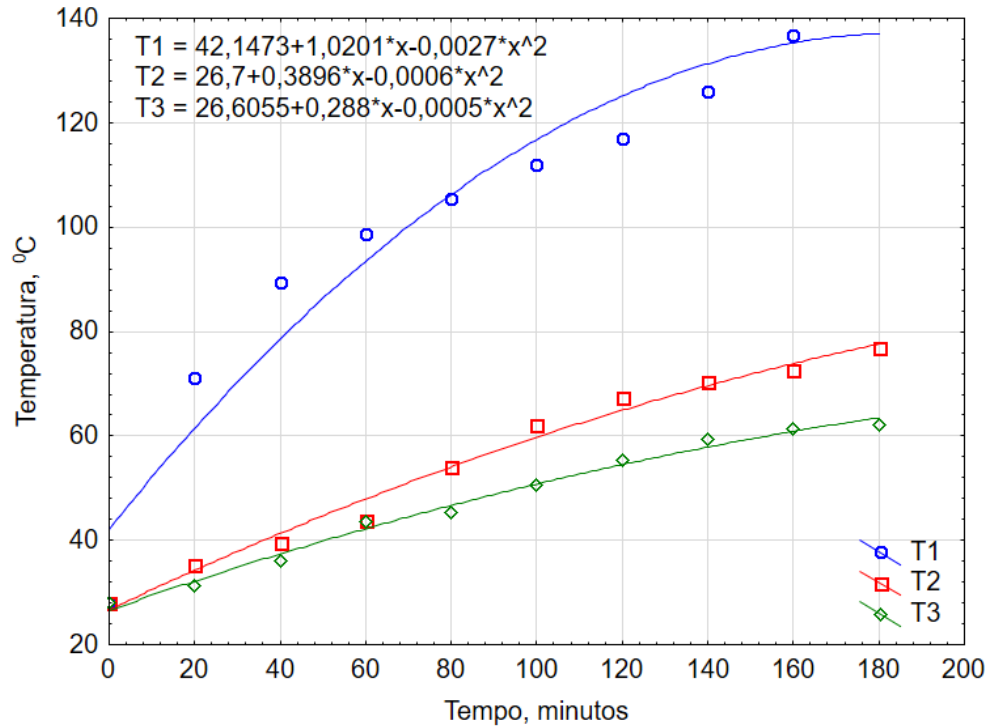
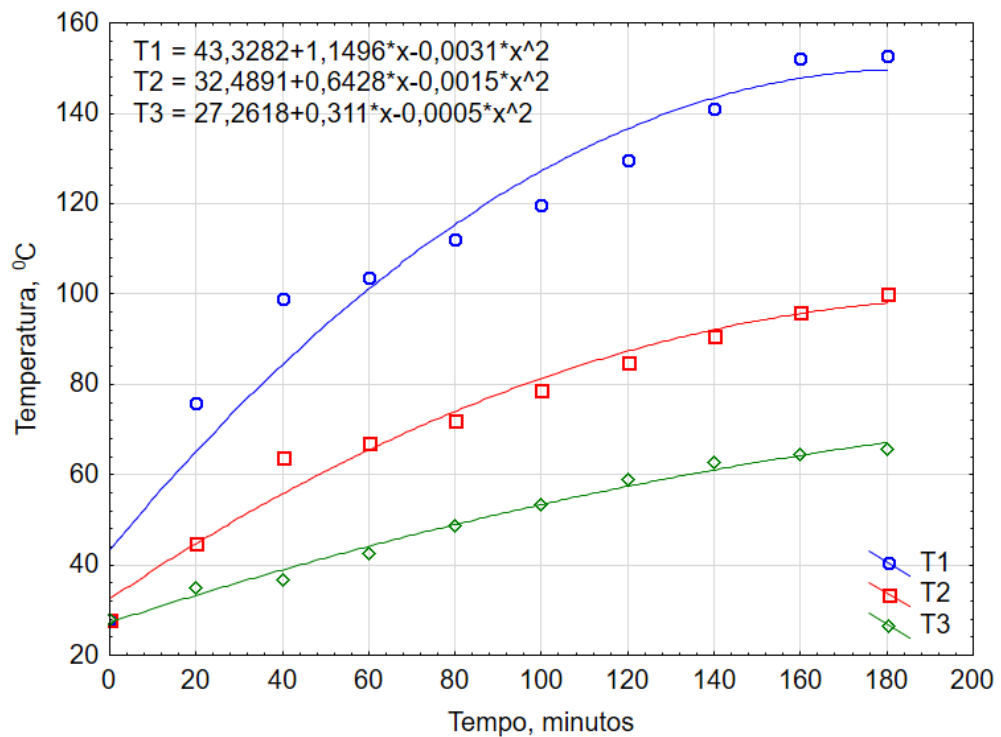


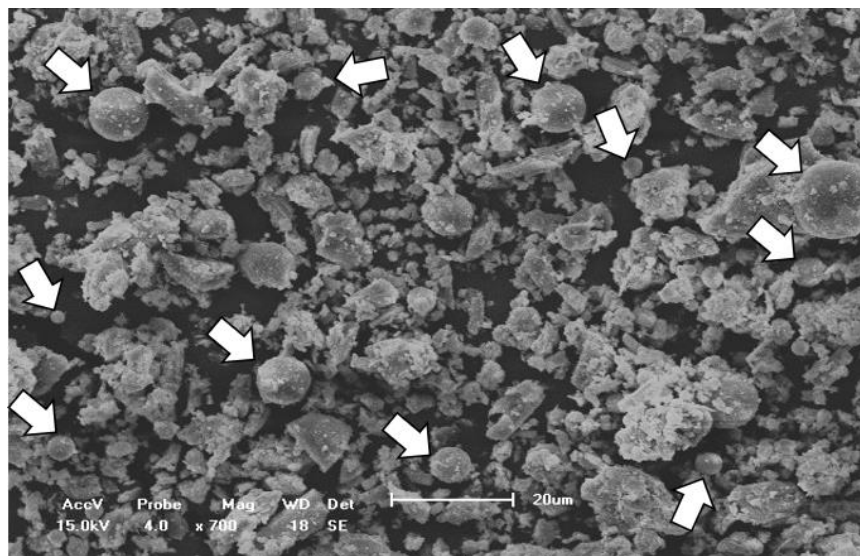
Figura 14 - Temperaturas no bloco confeccionado com gesso e teor 60% de cinzas de carvão mineral



Foram observados que os teores de cinzas (20%, 40% e 60%) adicionados ao gesso, não apresentaram uma grande diferença no comportamento das simulações através do Programa de Statistica, ou seja, esses teores não descaracterizaram a propriedade corta-fogo do gesso.

As observações sobre comportamentos semelhantes, identificados na análise térmica dos efeitos do teor de cinzas de carvão mineral sobre a propriedade corta-fogo dos blocos de divisória gesso-cinzas de carvão mineral podem ser confirmadas com auxílio da imagem de microscopia eletrônica de varredura (Figura 15). Nesta imagem observa-se microestruturas de diferentes diâmetros de cenosferas das cinzas de carvão mineral dispersas homogeneamente entre os cristais de gesso beta ou gesso de fundição. Devido a uniformidade da preparação das amostras, este tipo de dispersão ocorre através da manutenção de propriedades semelhantes para o componente matriz (gesso).

Figura 15 - Compósito constituído de gesso com 40% de cinza de carvão mineral. Pode-se observar a homogeneidade das cenosferas das cinzas (setas) na matriz de gesso



De acordo com as Figuras 16 à 19 as variações das temperaturas em função do tempo, são de acordo com a expressão matemática $\Delta t = \{100 - [(T_0 - T_i) T_0] \times 100\}\%$, situada no eixo das ordenadas dos gráficos. Esses resultados são apresentados em percentual que não diferem dos resultados apresentados nas Figuras 11 à 14, apenas comprovam que os teores de cinzas assim adicionados nas amostras, não descaracterizam a propriedade do compósito como corta-fogo.

Figura 16 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória, em contato com a chama de GLP, registradas pelos termopares 1, 2 e 3, em função do tempo, confeccionado apenas com gesso 100%

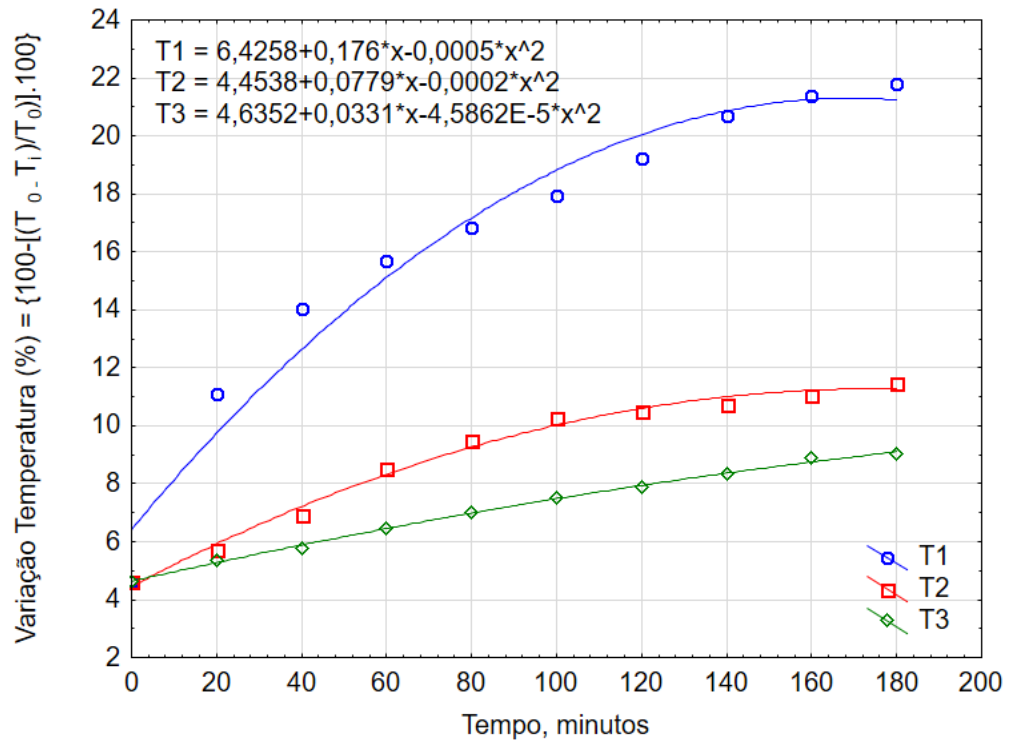


Figura 17 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória confeccionado com gesso e teor de 20% de cinzas de carvão mineral

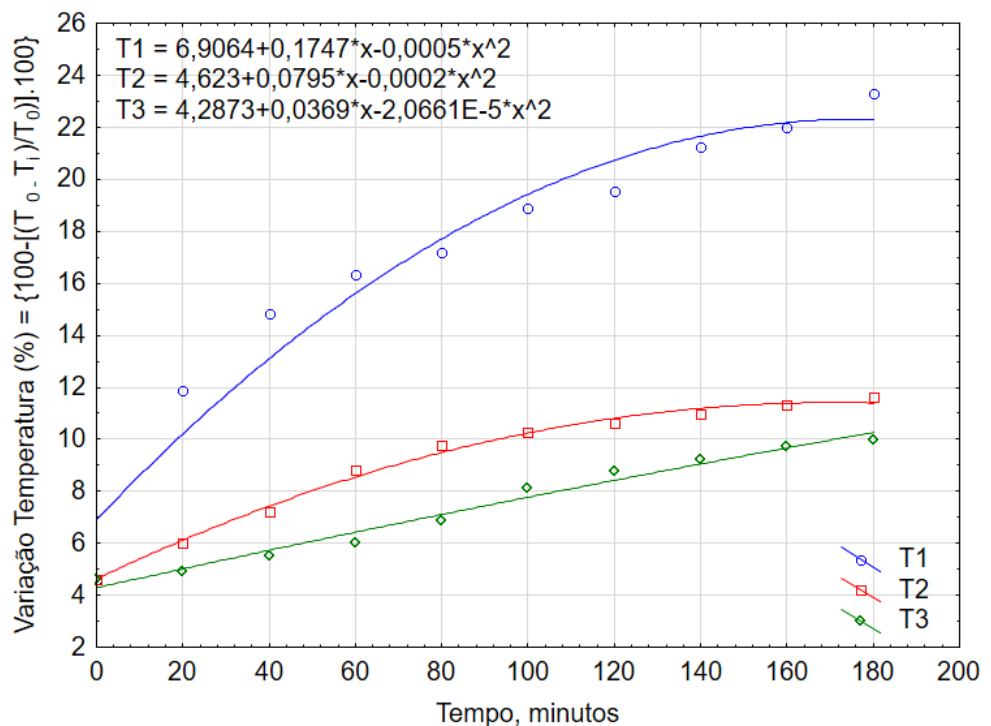


Figura 18 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória confeccionado com gesso e teor de 40% de cinzas de carvão mineral

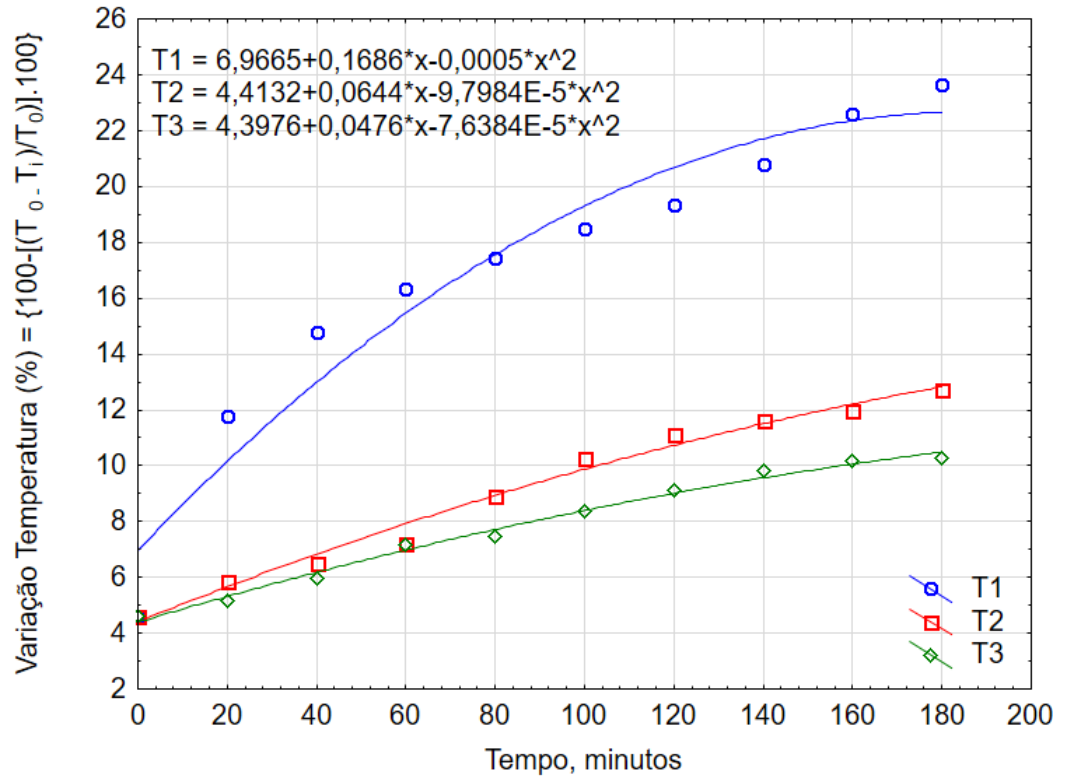
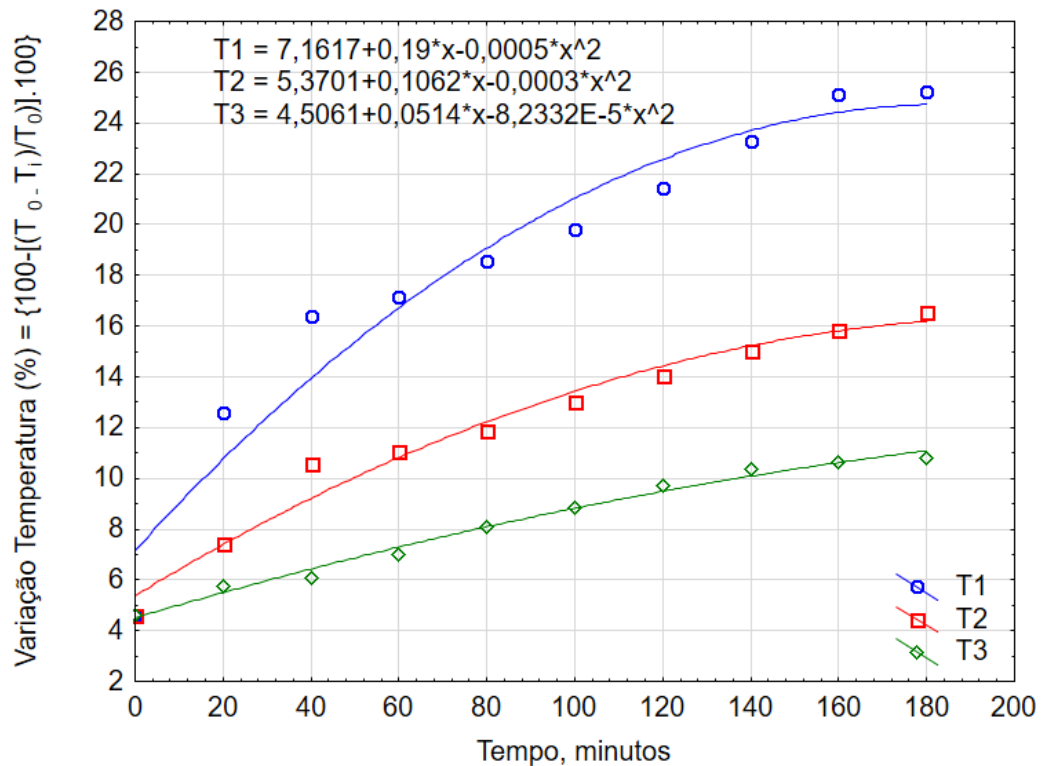


Figura 19 - Variações percentuais de temperatura em relação à superfície externa do bloco de divisória confeccionado com gesso e teor de 60% de cinzas de carvão mineral



A Tabela 2 apresenta os resultados dos cálculos das temperaturas registradas no ponto 3 (ΔT_3), ou seja, a 45 mm do ponto localizado na superfície externa do bloco de divisória em contato com a chama produzida pelo GLP. Quatro modelos polinomiais foram utilizados para calcular a referida temperatura após 120 minutos, sendo que cada valor de temperatura corresponde à situação relativa a um bloco de divisória confeccionado com diferentes teores de cinzas de carvão mineral. Apesar da espessura do bloco ser de 70 mm, de forma conservadora utilizou-se um ponto mais próximo da superfície de maior temperatura do bloco.

Tabela 2 - Redução percentual de temperatura após 120 minutos para diferentes teores de cinzas de carvão mineral na superfície oposta à superfície em contato com uma chama de \pm GLP à $605 \pm 4^\circ\text{C}$

Teor de cinzas de carvão mineral no bloco de divisória (%)	Modelo de regressão para estimativa percentual de temperatura ($\Delta T\%$) na face oposta à de contato com a chama de GLP	Redução de temperatura em 120 minutos (%)
60	$4,5061+0,0514 \cdot t - 0,00008233 \cdot t^2$	9,49
40	$4,3976+0,2562 \cdot t - 0,0038 \cdot t^2$	9,00
20	$4,2873+0,0369 \cdot t - 0,000021 \cdot t^2$	8,41
00	$4,6353 + 0,0331 \cdot t - 0,000046 \cdot t^2$	7,93

Para uma redução do percentual de temperatura na superfície oposta do bloco de divisória, relacionado à superfície de contato com a chama produzida pelo bico de Bunsen, o teor de cinzas de carvão mineral de 60% no gesso, também apresentou um resultado satisfatório, ou seja, ser menor que 23% após 120 minutos. Contudo este resultado não foi considerado para uma prática de processo construtivo, devido ao comprometimento de estrutura no aspecto de segurança, pois a mistura de gesso e cinzas de carvão mineral nestas proporções pode descaracterizar mecanicamente a obtenção de um compósito. Além disso 7,00% é um valor mínimo significativamente estatístico, devido ao seu fator de correlação. Neste caso o gesso deixaria de ser considerado o material responsável pelo esqueleto (matriz) do compósito e passaria a ser o material de enchimento ou reforço (TODOR et al., 2018), comprometendo a segurança da estrutura do bloco de divisória.

6. CONCLUSÕES

Foi produzido um compósito com propriedade corta-fogo à base de gesso e cinzas de carvão mineral. O teor ponderal de cinzas na formulação do referido compósito foi de até 40%, garantindo-se a segurança estrutural do compósito mantida pela preservação das funções dos componentes gesso (matriz) e cinzas de carvão mineral (enchimento).

Um teor de cinzas de até 60% de carvão mineral no compósito desenvolvido por este trabalho, não descaracterizou a propriedade corta-fogo em relação a um bloco produzido por 100% de gesso. A formulação proposta mantém condições de material corta-fogo e permite a classificação do compósito como CF 120. Dessa forma, ambientes edificados com blocos de divisórias internas deste compósito é capaz de manter condições de acessibilidade de pessoas, em ambientes adjacentes, no caso de incêndios do lado oposto à existências de chamas de até 120 minutos.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à FACEPE, à UNICAP e à Padrão GYPSUM pelo suporte financeiro e pela oportunidade de realização deste trabalho e pela contribuição a esta realização, respectivamente.

CAPÍTULO III

7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 Conclusões Gerais

Através das propriedades microestruturais das cinzas de carvão mineral identificou-se uma função de coadjuvante entre esses dois minerais (gesso hidratado e água retida na estrutura zeolítica) para o referido rejeito industrial, podendo os mesmos serem misturados na produção de blocos de divisória interna, até um teor ponderal de 40% de cinzas de carvão mineral na obtenção de um compósito com características corta-fogo;

Na avaliação das propriedades corta-fogo, os corpos de prova de dimensão comercial foram mais adequados que os de dimensões laboratoriais, em função de um maior efeito corta-fogo devido a uma maior quantidade de água disponível (água hidratada + água retida na estrutura zeolítica) desses dois minerais gesso e cinzas;

A propriedade corta-fogo de um bloco de divisória interna compacto foi mantida para adições de cinzas de carvão mineral.

A identificação do tipo de material corta-fogo e de acordo com a NBR 10636 é de: CF 120.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Como sugestões de trabalhos futuros propõe-se:

Desenvolvimento de trabalho para avaliação experimental das propriedades físico-químicas e mecânicas do compósito gesso e cinzas de carvão mineral proposto;

Estudo teórico experimental para aumento da propriedade corta-fogo e inclusão de outras propriedades especiais para o compósito gesso-cinzas de carvão mineral, com uma possível adição de nano material em sua composição.

8. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12127: Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 2019a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12129: Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico, 2019b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12128: Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso. Rio de Janeiro, 2019c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 12130: Gesso para construção civil — Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10636 - Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

BATISTA, C. A.; NAKAMURA, F. S. **Viabilidade técnica da utilização de diferentes proporções de gesso e fosfogesso como material de construção**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de conclusão de curso. 2018. 67 p.

BERTO, A. F. **Resistência ao fogo**. In. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, São Paulo. Tecnologia de Edificações. São Paulo: PINI, 1988.

BUCHANAN, A. Structural Design for Fire Safety. Canterbury: John Wiley & Sons Ltd., 2001.

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

CHANG, J.H.; KIM, S.J.; JOO, Y.L., IM, S. Poly(ethyleneterephthalate) nanocompósitos by in situ interlayerpolymerization: the thermo-mechanical properties and morphology of hybrid fibers. *Polymer* 2004.

CPA –Construction Products Association. Construction industry fore casts 2015–2019. London, Construction Products Association, 2015.

DIAS, E. M B.; OLIVEIRA, R. A. Efeitos das alvenarias de vedação sobre o comportamento de edifícios altos com estrutura em concreto armado. In: Congresso de Pontes e Estruturas, 2005, Rio de Janeiro. Anais do Congresso de Pontes e Estruturas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pontes e Estruturas, 2005. p. 1-13

EUROPEAN COMMISSION, Nano DataLandscape Compilation Construction, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.

NETO, M. G. P. **Produção por prensagem uniaxial de compósito à base de gesso e cinzas de carvão mineral**. Dissertação de mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017. 98p.

GYPSUM ASSOCIATION, GA-600-2009 FIRE RESISTANCE DESIGN MANUAL, International Code Council, Inc., 2009.

HEDAYATI, K; GOODARZI, M.; GHANBARI, D., Hydrothermal Synthesis of Fe₃O₄ Nanoparticles and Flame Resistance Magnetic Polystyrene Nanocomposite. **J Nano struct**, 2017; 7(1):32-39. DOI: 10.22052/jns.2017.01.004

INSTITUTO AVANÇADO DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – IATI. Desenvolvimento de mistura para adaptação de solos arenosos visando a melhoria do sistema de aterramento. Projeto de P&D IATI-TDG-ANEEL, 2016.

OLIVEIRA, R.B.R.S.; MORENO JUNIOR, A.L.; VIEIRA, L.C.M., Intumescent paint as

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

fire protection coating. IBRACON Structures and Materials Journal • 2017 • vol. 10 • nº 1. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-41952017000100010>.

PERES, L; BENACHOUR, M.; SANTOS, V.A., Gesso: produção e utilização na construção civil. SEBRAE: recife, 2008.

PIRES SOBRINHO, C. W. Utilização de divisórias internas de edifícios em alvenaria de blocos de gesso-foco na sustentabilidade. In. Construção 2018. Universidade do Porto - Portugal, novembro, 2018.

ROCHA, C. A. L. O Gesso na Indústria da Construção Civil: **Considerações econômicas sobre utilização de blocos de gesso**. Dissertação de Mestrado (91 f.) Curso de Pós Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ROCHA, C. A. F. J.; SANTOS, S. C. A.; SOUZA, C. A. G.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F. Síntese de zeólitas a partir de cinza volante de caldeiras: caracterização física, química e mineralógica. **Cerâmica**, v. 58, n. 345, p. 43–52, mar. 2012.

SAHU, G.; BAG, A.; CHATTERJEE, N.; MUKHERJEE, A. (2017) Potential use offlyash in agriculture: A wayto improve soilhealth. In Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, n.6, p. 873-877.

SOPHIA, M.; SAKTHIESWARAN, N.; GANESH BABU O., Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments. IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology| Volume 2 | Issue 12 | May 2016 ISSN (online): 2349-6010

SÃO PAULO (Estado). Leis, etc. Decreto nº 38.069 de 14 de dezembro de 1993. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. 15 de dezembro de 1993. Seção I, 103 (233).

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

TOLMASQUIM, M.T., Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TODOR, M. P.; BULEI, C.; HEPUT, T.; KISS, I. Resear cheson the development of new composite materials complete / partially biodegradable using natural textil efibers of new vegetable originand those recovered from textile waste. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 294 (2018) 012021 doi:10.1088/1757-899X/294/1/012021.

XIAOMIN, N.I.; KAIQIAN, K.; DONGLEI, Y.; XIANG, J.I.N.; GUANG, X., A newtypeoffiresuppressantpowderofNaHCO₃/zeolite nanocomposites with core–shellstructure, 2008. Disponível em www.elsevier.com/locate/firesaf. Acesso em 04/04/2011.

ANEXOS

SOLICITAÇÃO DE PATENTE

Compósito Corta-fogo à base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral



Pedido nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Número do Processo: BR 10 2020 003250 0

Dados do Depositante (71)

Depositante 1 de 1

Nome ou Razão Social: VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS

Tipo de Pessoa: Pessoa Física

CPF/CNPJ: 07974310472

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Rua Leonardo da Vinci, 112 apto 2121, Imbiribeira

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 51190-350

País: Brasil

Telefone: (81)33390523

Fax: (81)33390523

Email: valdemir.alexandre@hotmail.com

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 16/02/2020 às 20:09, Petição 870200022555

Dados do Pedido

Natureza Patente: 10 - Patente de Invenção (PI)

Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54): **COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL**

Resumo: Esta patente de invenção refere-se à formulação de um compósito com características corta-fogo, composto de gesso e cinzas de carvão mineral (CCM). O compósito formulado com um teor de CCM de até 40% é capaz de manter a temperatura da superfície oposta à superfície em contato com temperaturas da chama produzida pela combustão de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) abaixo de 140°C, após 120 minutos. Além da grande redução nos custos, este material garante segurança estrutural do compósito, observando-se a permanência do gesso como matriz e as CCM como enchimento do compósito corta-fogo, mesmo após a realização dos testes de análise térmica. A utilização de tal compósito veio beneficiar a construção de ambientes mais seguros e baratear o processo de fabricação de blocos de divisórias internas, compactos ou não, associando-se gesso de fundição ao reaproveitamento de CCM, este último como material que representa um grande passivo ambiental.

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 16/02/2020 às 20:09, Petição 870200022555

inventor 1 de 4

Nome: JANSEN ANTUNES CORREA DE SOUZA

CPF: 84816813420

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Mestrando

Endereço: Rua Raul Azedo, 94 Apto. 101 Edf. Ana Virginia - Boa Viagem -
Recife - PE

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 51011-610

País: BRASIL

Telefone: (81) 999 316896

Fax:

Email: ja.cs@hotmail.com

inventor 2 de 4

Nome: NATHALIA FRANÇA PESSOA

CPF: 09425905460

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Engenheiro, arquiteto e afins

Endereço: Rua do Progresso, 383 Apto. 2 Edf. Ana Maria - Boa Vista - Recife -
PE

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 50070-095

País: BRASIL

Telefone: (81) 902 492579

Fax:

Email: nathaliaf82@yahoo.com

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 16/02/2020 às
20:09, Petição 870200022555

Dados do Inventor (72)

inventor 3 de 4

Nome: LEONARDO BANDEIRA DOS SANTOS

CPF: 93738810487

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Físico, químico, meteorologista, geólogo, oceanógrafo e afins

Endereço: Rua José Hipólito Cardoso, 97 Apto. 2501 Boa Viagem Recife - Pernambuco

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 51030-060

País: BRASIL

Telefone: (81) 989 796200

Fax:

Email: leoband@hotmail.com

inventor 4 de 4

Nome: VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS

CPF: 07874310472

Nacionalidade: Brasileira

Qualificação Física: Professor do ensino superior

Endereço: Rua Izabel Magalhães, 93 Apto. 703 Boa Viagem Recife - Pernambuco

Cidade: Recife

Estado: PE

CEP: 51030-330

País: BRASIL

Telefone: (81) 996 20732

Fax:

Email: valdemir.santos@unicap.br

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 16/02/2020 às 20:09. Petição 870200022555

Acesso ao Patrimônio Genético

- Declaração Negativa de Acesso - Declaro que o objeto do presente pedido de patente de invenção não foi obtido em decorrência de acesso à amostra de componente do Patrimônio Genético Brasileiro, o acesso foi realizado antes de 30 de junho de 2000, ou não se aplica.

Declaração de veracidade

- Declaro, sob as penas da lei, que todas as informações acima prestadas são completas e verdadeiras.

**PETICIONAMENTO
ELETRÔNICO**

Esta solicitação foi enviada pelo sistema Petição Eletrônica em 16/02/2020 às 20:09, Petição 870200022555

Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral

[bb.com.br] - Boleto gerado pelo sistema MPAG, 16/02/2020 17:33:31

INSTRUÇÕES:

A data de vencimento não prevalece sobre o prazo legal. O pagamento deve ser efetuado antes do protocolo. Órgãos públicos que utilizam o sistema SIAFI devem utilizar o número da GRU no campo Número de Referência na emissão do pagamento. Serviço: 200-Pedido Nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT

Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Física.

Clique aqui e pague este boleto através do Auto Atendimento Pessoa Jurídica.

BANCO DO BRASIL		001-9	00190.00009 02940.916196 16016.587178 1 81960000007000			
Nome do Pagador(CPF/CNPJ/Endereço) VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS CPF/CNPJ: 079.743.104-72 RUA LEONARDO DA VINCI 112 APTO 2121 IMBIRIBEIRA, RECIFE -PE CEP:51190350						
Sacador/Avalista						
Número-Número	Nº Documento	Data de Vencimento	Valor do Documento	(R) Valor Pago		
29409161916018587	29409161916018587	16/03/2020	70,00			
Nome do Beneficiário(CPF/CNPJ/Endereço) INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUST CPF/CNPJ: 42.527.088/0001-37 RUA MAYRINK VEIGA 9 24 ANDAR ED WHITE MARTINS , RIO DE JANEIRO - RJ CEP: 20000510						
Agência/Código do Beneficiário 2234-9 / 333028-1			Autenticação Mecânica			

BANCO DO BRASIL		001-9	00190.00009 02940.916196 16016.587178 1 81960000007000			
Local de Pagamento PAGÁVEL EM QUALQUER BANCO ATÉ O VENCIMENTO						
Nome do Beneficiário(CPF/CNPJ) INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUST CPF/CNPJ: 42.527.088/0001-37						
Data do Documento	Nº Documento	Espécie DOC	Acerto	Data do Processamento	Agência/Código do Beneficiário	
16/02/2020	29409161916018587	DE	N	16/02/2020	2234-9 / 333028-1	
Use do Banco	Código	Espécie	Quantidade	Valor	Número-Número	
29409161916018587	17	R\$			29409161916018587	
Informações de Responsabilidade do beneficiário A data de vencimento não prevalece sobre o prazo legal. O pagamento deve ser efetuado antes do protocolo. Órgãos públicos que utilizam o sistema SIAFI devem utilizar o número da GRU no campo Número de Referência na emissão do pagamento. Serviço: 200-Pedido Nacional de Invenção, Modelo de Utilidade, Certificado de Adição de Invenção e entrada na fase nacional do PCT					(R) Valor do Documento 70,00	
					(I) Desconto/Acréscimo	
					(R) Juros/Multa	
					(R) Valor Cobrado	
Nome do Pagador(CPF/CNPJ/Endereço) VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS CPF/CNPJ: 079.743.104-72 RUA LEONARDO DA VINCI 112 APTO 2121 IMBIRIBEIRA, RECIFE-PE CEP:51190350						
Sacador/Avalista			Código de Barra		Ficha de Compensação	
			Autenticação Mecânica			



Retenção 00190.00009 02940.916196 16016.587178 1 81960000007000

“COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL”

- 001 A construção de parede corta-fogo tem como principal objetivo ser um obstáculo à propagação do fogo para outros ambientes, protegendo as pessoas e a própria edificação de danos maiores causados por um incêndio.
- 002 O tipo de material usado para a construção de parede corta-fogo pode ser semelhante a gessos ou lãs minerais. A escolha é definida no desenvolvimento do projeto, levando-se em consideração custos e prazo de execução. Independentemente da escolha, a construção de parede corta-fogo fará uso de material especial capaz de suportar o fogo, retardando a sua propagação. Deve-se levar em consideração que as estruturas metálicas, quando em contato com as altas temperaturas, perdem a sua resistência e por isso, todo elemento escolhido para a construção de parede corta-fogo deverá suprir essa insuficiência.
- 003 Os materiais compósitos estão entre os materiais mais antigos, entretanto também encontram-se entre os mais recentes. É um material resultante da combinação de dois ou mais materiais, de composição e forma diferentes, e cada constituinte mantém intacta a sua identidade, não havendo, portanto, nem dissolução nem fusão entre os diferentes componentes. Dessa forma, o objetivo principal em se produzir compósitos é de combinar diferentes materiais para produzir um único material com propriedades mais adequadas para o que se deseja aplicar que às dos componentes isolados.
- 004 Ao se combinar materiais com características e propriedades tão diferentes, pretende-se obter um composto onde as propriedades físicas e químicas dos constituintes se complementem, de forma a obter um material superior a qualquer um dos seus constituintes e adequado aos fins pretendidos. Com os materiais compósitos é possível obter produtos com diferentes propriedades, entre as quais se podem citar: leveza, ductilidade, materiais resistentes a altas temperaturas e materiais duros e resistentes ao choque.

- 005 A maioria dos estudos de compósitos visa à obtenção de um material com propriedades mecânicas, elétricas ou óticas mais adequadas para seu fim que os materiais convencionais. No campo térmico tem-se priorizado a obtenção de materiais que resistam a bruscos gradientes de temperatura e a altíssimas e baixíssimas temperaturas. No caso específico do presente trabalho, a adição de um material de enchimento como a cinza de carvão mineral (CCM) é adicionada numa matriz de gesso com a finalidade de baratear a produção de um compósito corta-fogo, mantendo-se as propriedades do gesso com a adição de um rejeito industrial sólido, considerado como passivo ambiental.
- 006 O gesso é um aglomerante aéreo, utilizando-se da desidratação térmica da mineral gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), para sua fabricação. O termo genérico gesso é usado para definir uma família de aglomerantes simples produzida a partir da calcinação da gipsita, sendo composta por sulfatos de cálcio com variadas condições de hidratação (hemi-hidrato e anidritas), além de impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio. Este material apresenta amplo uso na construção civil dada às suas propriedades físicas e mecânicas, além de baixo custo energético de produção.
- 007 Uma das etapas mais importantes do processo de produção de gesso é a calcinação, que consiste no processo de desidratação da mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). É um processo térmico pelo qual a gipsita é desidratada. O material é calcinado numa faixa de temperatura de 140°C a 160°C , para que 75 % da água de cristalização seja retirada da estrutura e se obtenha o semi-hidrato de sulfato de cálcio conhecido comercialmente como gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$).
- 008 Uma das propriedades mais importantes do gesso é a sua capacidade de combater a propagação do fogo, além de estabilizar à temperatura, da região onde o gesso foi utilizado, por um determinado tempo. O gesso ainda é classificado como M0, ou seja, é considerado como um material incombustível, assim como as cinzas que são resíduos sólidos de uma combustão. Assim como no processo de calcinação da gipsita, seguindo uma reação endotérmica, o gesso endurecido quando aquecido começa a perder água acima de 100°C . Tem-se, dessa forma,

um consumo de calor e, ao mesmo tempo, estabilização da temperatura, até que toda a água de cristalização seja liberada. Neste processo, durante o tempo em que o gesso está liberando água, a sua temperatura não ultrapassa 140 °C, o que o torna também um elemento corta-fogo.

- 009 A porosidade do gesso vem da evaporação do excesso de água que não foi consumida durante a sua hidratação. Na maioria das vezes, para se alcançar uma boa trabalhabilidade da pasta de gesso, é preciso utilizar de teor de água superior a 50% da massa do gesso. Como a água consumida durante a reação é da ordem de 0,186 gramas de água para uma grama de gesso, sendo este um dos motivos para o uso de gesso como material corta-fogo, além de seu caráter incombustível da parte isenta de água.
- 010 A queima de carvão mineral em fornos industriais produz resíduos classificados como escórias, cinzas de fundo (pesadas) e cinzas volantes (leves). A intensificação do uso da matéria-prima energética tende a aumentar o problema de gestão destes resíduos gerados em várias partes do mundo e que constituem problemas ambientais ou passivos ambientais. Entretanto, também se identificam benefícios econômicos, ambientais e tecnológicos para produtores, comerciantes e usuários finais de PCC's: estímulo à adoção de novas tecnologias e produtos, principalmente quando os custos decorrentes são menores que os de armazenamento e monitoramento.
- 011 O Brasil possui usinas termelétricas que produzem dezenas de milhões de t/cinzas por ano, nas quais 65% a 85% correspondem à fração leve e de 15% a 35% à fração pesada. Como é previsto atualmente um aumento de mais de 100% no consumo de carvão para fins termelétricos no Brasil. A produção anual a nível mundial de cinzas de carvão é estimada em torno de 600 milhões de toneladas e 500 milhões de toneladas para cinzas volante que corresponde de 75% a 80% do total de cinzas geradas.
- 012 Pozolanas são todos os materiais inorgânicos, naturais ou artificiais, que desenvolvem resistência mecânica quando entram em contato com a água, devido à presença de hidróxido de cálcio ou de materiais que possam produzi-lo. As cinzas de carvão mineral possuem atividades pozolânicas, retendo água em

sua constituição quando participam da formulação de um compósito, além de serem dotadas de um altíssimo caráter incombustível.

- 013 Na formulação de um novo compósito à base de gesso e cinzas de carvão mineral, mantendo-se proporções que garantam as caracterizações de ambos os componentes, isto é, o gesso como matriz e as cinzas como recheio, chega-se a um material com características corta-fogo. Essa característica, existente no próprio gesso, deve sofrer redução de sua intensidade, mas, preservando-se o percentual de participação das CCM no referido compósito, chega-se a um novo material de baixo custo e de propriedades desejadas.

REIVINDICAÇÕES

1ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizado por ser composto em sua formulação de gesso e cinzas de carvão mineral (CCM), preservando características do gesso puro em contribuir para isolamento térmico de áreas de circulação de pessoas e/ou animais.

2ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizada por obedecer a reivindicação 1ª e ter em sua composição um percentual ponderal de CCM de até 40%.

3ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizada por obedecer às reivindicações 1ª e 2ª e isolar termicamente ambientes separados por blocos de divisórias internas, mantendo o ambiente oposto ao lado aquecido por temperatura em torno de 600°C, a temperaturas abaixo de 140 °C por mais de 120 minutos.

4ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizada por obedecer às reivindicações 1ª a 3ª e ser classificado como um material corta-fogo de classe CF 120.

5ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizada por obedecer às reivindicações 1ª a 4ª e reaproveitar um material considerado um grande passivo ambiental, favorecendo a uma redução considerável no impacto negativo causado pelo uso industrial do carvão mineral como matriz energética.

6ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizada por obedecer às reivindicações 1ª a 5ª e dar possibilidade de redução do custo de fabricação de blocos de divisória interna compactos ou não.

7ª) "COMPÓSITO CORTA-FOGO À BASE DE GESSO E CINZAS DE CARVÃO MINERAL" caracterizada por obedecer às reivindicações de 1ª a 6ª e contribuir

2/2

para um uso mais racional do minério de gipsita e aumentar o número de produtos especiais derivados do gesso.



Sousa, J. A. C. Desenvolvimento de um Compósito com Propriedade Corta-Fogo à Base de Gesso e Cinzas de Carvão Mineral