

ESTUDOS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM NOVO TIPO DE BLOCO CERÂMICO “HÍBRIDO” PARA EDIFICAÇÕES EM ALVENARIAS ESTRUTURAIS

MSc. Cássio Freire Câmara e Dr. Uílame Umbelino Gomes.
Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais – PPgCEM
da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
Av. Salgado Filho, 3000 – Lagoa Nova, Natal/RN-BR.
CEP: 59.078-970 – Fone: 3215-3826.
Email: cfcamara@infra.ufrn.br e umbelino@dfte.ufrn.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um bloco cerâmico híbrido cuja utilização reside nas edificações executadas com alvenarias estruturais. Neste trabalho buscam-se novos materiais e/ou produtos com a finalidade de elevar a resistência à compressão dos blocos cerâmicos, sem desprezar as demais propriedades (absorção de água e retração linear). Após a coleta dos materiais (argila e pó de brita), a confecção (com percentuais que variam de 0%, 5%, 10% e 15% de substituição de pó de brita a argila), a identificação e a medição (comprimentos e pesos) dos corpos-de-prova foram realizadas uma abordagem acerca da caracterização, através da Fluorescência, Mineralogia e MEV destes materiais, bem como a caracterização (MEV) dos blocos cerâmicos após a sua sinterização (temperaturas de 900°C, 1000°C e 1100°C com taxa de aquecimento de 5°C/minuto e patamar de 1 hora). Em seguida, as amostras foram submetidas à realização dos ensaios (resistência à compressão e absorção de água) e calculados as respectivas retrações lineares. Realizadas as análises dos resultados desses ensaios (de acordo com os critérios e parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15270), foi constatado que o bloco “híbrido” com adição de 10% de pó de brita obteve o melhor resultado, elevando a resistência à compressão em 16% sem comprometer os demais parâmetros exigidos pela Norma.

Palavras-chave: Bloco cerâmico; pó de brita; reciclagem industrial; meio ambiente; alvenaria estrutural.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da competitividade impõe às indústrias do setor cerâmico a necessidade de elevar a qualidade de seus produtos. Por outro lado, cada vez mais o tratamento adequado da questão ambiental relacionada aos processos de produção é um fator diferencial, que pode ser decisivo na escolha de um determinado produto pelo mercado cada vez mais exigente.

Diversos países, inclusive o Brasil, já utilizam a reciclagem (resíduo industrial), seja como matéria-prima para fabricação de um novo produto ou através da incorporação junto a outros materiais (caso desta dissertação).

O bloco cerâmico híbrido é um produto constituído basicamente por agregados miúdos, dispersos em uma matriz formada pelas reações químicas durante a hidratação da argila e do pó de brita pela água.

A presente dissertação vem somar-se a outras pesquisas experimentais visando produzir um bloco cerâmico híbrido, que reúna qualidade e durabilidade associadas a um menor custo de produção. Neste sentido, este trabalho é parte da nossa contribuição científica e tecnológica a esses objetivos.

O objeto do estudo apresenta grande relevância prática na atualidade, pois a cada dia a modalidade de execução das edificações em alvenaria estrutural cresce em maior escala que as edificações em estrutura de concreto armado convencional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A argila utilizada na confecção dos corpos-de-prova desta dissertação foi coletada na região do município de Assu, no Rio Grande do Norte, pois nesta região concentra-se a maior quantidade de olarias do estado.

O pó de brita utilizado é de origem granítica e foi coletado na jazida localizadas no município de Caicó, no Rio Grande do Norte, material com diâmetro

máximo de 4,8 mm, módulo de finura de 2,55 e abrasão Los Angeles de 48% de desgaste.

Inicialmente os materiais (argila e pó de brita) foram colocados em um moinho de bolas, cujo equipamento é uma ferramenta eficaz para moagem fina de pós. O moinho de bolas é utilizado para moagem de vários tipos de minérios e outros materiais, estes utilizados para a fabricação de materiais para construção, para indústria química, etc. Existem dois métodos de utilizar este tipo de equipamento, a moagem em ambiente úmido e a moagem a seco. O tamanho médio final das partículas moídas depende da dureza do material a moer e do tempo de moagem. Os nossos moinhos de bolas são utilizados para moagem de vidro, revestimentos cerâmicos, vários tipo de produtos químicos e mesmo para pó negro de carbono.

Após os materiais serem moídos foi realizado o seu peneiramento. Essa classificação por tamanho, portanto, é feita por barreira mecânica, ou seja, um processo do tipo "passa/não passa" e as barreiras são constituídas pelos fios da malha. No peneiramento, existe uma separação, segundo o tamanho geométrico das partículas.

Em seguida os materiais foram misturados manualmente sobre superfície limpa através da utilização de ferramentas manuais (pás e enxadas) conforme os percentuais (100% de argila e 0% de pó de brita, 95% de argila e 5% de pó de brita, 90% de argila e 10% de pó de brita e 85% de argila e 15% de pó de brita) propostos inicialmente na pesquisa e umedecidos com um percentual de aproximadamente 18% de água, sendo esta "pasta", posteriormente, inserida na extrusora.

A extrusão é um processo de conformação no qual o material é forçado através de uma matriz. Este procedimento foi realizado para moldagem dos corpos de prova com dimensões de aproximadamente 7,2 x 3,5 x 6,5 centímetros e como a geometria da matriz permanece inalterada, os produtos extrudados têm seção transversal constante.

Após a moldagem dos copos de prova utilizando formulações diferentes, ou seja, F1, F2, F3 e F4 (0%, 5%, 10% e 15% de pó de brita respectivamente), foram realizados a identificação, a numeração (01 a 42), a pesagem e a medição das

dimensões dos mesmos (após a extrusão – úmido e após a sinterização - seco) com a utilização de uma balança e um paquímetro digital.

A Sinterização foi realizada num forno tipo MUFLA, cujas temperaturas utilizadas nos corpos de prova foram 900°C, 1000°C e 1100°C, com uma taxa de aquecimento de 5°C/minuto e um patamar de 01 (uma) hora.

Como havia grande quantidade de corpos-de-prova para os ensaios de compressão e absorção, foram adotadas letras e números para identificá-los de modo a facilitar o desenvolvimento da pesquisa e a identificação dos mesmos, assim como o tratamento dos dados obtidos. A letra “F” acompanhada de um número que varia de 1 a 4 representam a formulação das amostras e a numeração dos corpos-de-prova, que varia de 1 a 42. A Tabela I abaixo apresenta um resumo da simbologia adotada para identificação das amostras.

Tabela I - Simbologia usada na identificação dos corpos-de-prova.

Formulações	Teores de argila	Teores de pó de brita
F1 (de 1 a 42)	100%	0%
F2 (de 1 a 42)	95%	5%
F3 (de 1 a 42)	90%	10%
F4 (de 1 a 42)	85%	15%

Posteriormente foi analisada a capacidade que os corpos-de-prova têm de absorver individualmente as tensões verticais impostas aos mesmos. Para o ensaio de Resistência à Compressão eles foram recebidos, identificados, limpos, retiradas as rebarbas e colocados em ambiente protegido que preservou suas características originais. Cada corpo-de-prova é constituído por um bloco cerâmico híbrido, íntegro e isento de defeitos, amostrado de acordo com as ABNT NBR 15270-1 e ABNT NBR 15270-2.

Todos os corpos-de-prova foram ensaiados de modo que a carga fosse aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu emprego, sempre perpendicular ao comprimento e na face destinada ao assentamento. Eles foram colocados na prensa de modo que o seu centro de gravidade esteja no eixo de carga dos pratos da prensa; o ensaio de compressão foi procedido regulando os

comandos da prensa, de forma que a tensão aplicada e calculada em relação à área bruta se eleve progressivamente à razão de $0,05 \pm 0,01$ MPa/s.

Em seguida foi analisada a quantidade de água em relação aos demais materiais que cada corpo-de-prova adquiriu, através do preenchimento de seus poros, após ser realizado o ensaio. Os corpos-de-prova foram submetidos novamente à estufa durante 24 horas antes de ser realizado o ensaio – isto justifica a redução dos seus respectivos pesos secos. Eles foram recebidos, identificados, limpos, as rebarbas retiradas, determinado a suas respectivas massas secas (ms) e colocados em ambiente protegido que preserve suas características originais.

Após a determinação das massas secas (ms), os corpos-de-prova foram colocados em um recipiente de dimensões apropriadas, preenchido com água à temperatura ambiente, em volume suficiente para mantê-los totalmente imersos. O recipiente foi gradativamente aquecido até a água no seu interior entrar em ebulição, os corpos-de-prova foram mantidos completamente imersos em água fervente por 2 h e em seguida determinadas as respectivas massas úmidas (mu).

Partindo do pressuposto de que a retração linear consiste na variação das dimensões lineares em porcentagem e seu valor será positivo quando houver retração e negativo quando houver expansão, foram realizadas duas aferições das dimensões (comprimento, largura e altura) dos corpos-de-prova, ou seja, a primeira antes da sinterização e a segunda após a queima dos mesmos.

O índice de retração (RT) de cada corpo-de-prova é determinado pela equação “A”:

$$RT (\%) = \frac{C_u - C_s}{C_u} \times 100 \quad (\text{Equação A})$$

,onde C_u e C_s representam o comprimento úmida e o comprimento seca de cada corpo-de-prova, respectivamente, expressas em centímetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados buscam estabelecer correlação entre os parâmetros identificados na ABNT NBR 15270-2 e os dados obtidos através dos ensaios realizados com os corpos-de-prova. Observando-se o quanto são

significativas às variáveis na confecção dos blocos cerâmicos tratadas neste trabalho (relação entre as quantidades das matérias-primas e temperatura de sinterização), influenciando significativamente na eficiência e qualidade do produto.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas análises das matérias-primas utilizadas na confecção dos blocos cerâmicos e dos ensaios realizados nos corpos-de-prova.

As análises mineralógicas através dos difratogramas de raios-X das amostras dos materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova resultaram nos gráficos da argila e do pó de brita granítica. Uma vez observados os resultados (Figura 3.1) constata-se respectivamente a predominância da fase cristalina Quartzo (SiO_2) na argila e Quartzo, Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e Microclíneo (KAlSi_3O_8) no pó de brita.

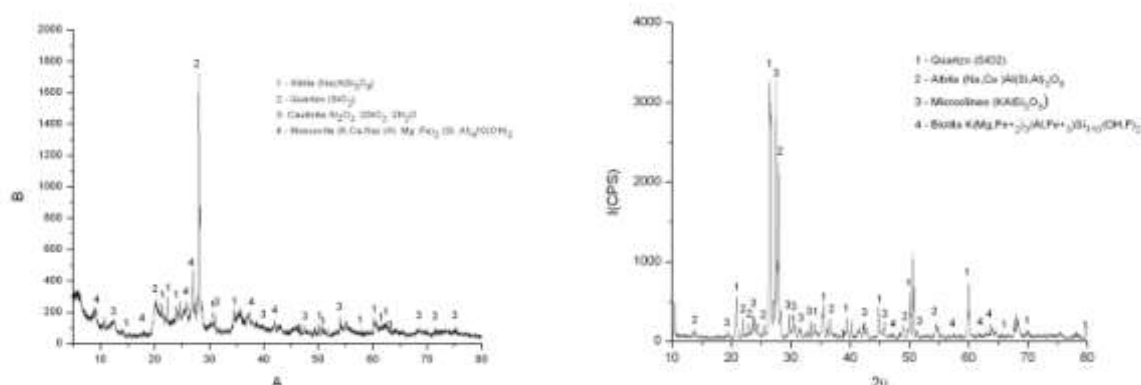


Figura 3.1 - Análise Mineralógica da argila e do pó de brita, respectivamente.

Com a fluorescência das amostras dos materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova foram obtidos os relatórios da argila e do pó de brita granítica respectivamente abaixo. Uma vez observados os resultados constata-se a predominância de Oxido de Silício (SiO_2), Oxido de Alumínio (Al_2O_3) e Oxido de Ferro (Fe_2O_3) para ambos os materiais, conforme ilustrado na Figura 3.2.

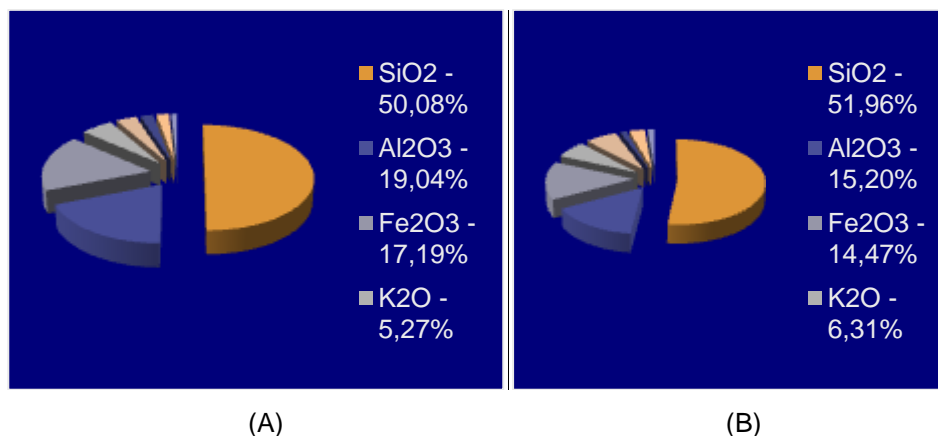


Figura 3.2 – Composição química da argila (A) e do pó de brita (B).

A presença e os teores dos óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3) na composição química das matérias-primas analisadas confirmam que a cerâmica é do tipo vermelha e é proveniente de rochas graníticas.

Os teores de Fe_2O_3 (17,19% na argila e 14,47% no pó de brita) estão acima dos valores considerados normais para os materiais analisados, o que durante a sinterização favorece a obtenção de produtos com cores avermelhadas, tendendo para o escuro. O elevado percentual de óxido alcalino K_2O (5,27% na argila e 6,31% no pó de brita) e óxido alcalino-terroso CaO (3,36% na argila e 6,29% no pó de brita) contribuem para um comportamento de elevada fundência dos materiais, uma vez que em temperaturas elevadas agem como fundentes de elevada energia.

A análise das amostras dos materiais utilizados na confecção dos corpos-de-prova por microscópico eletrônico de varredura – MEV resultou nas Fotomicrografias (Figura 3.3) da argila e do pó de brita granítica respectivamente abaixo:

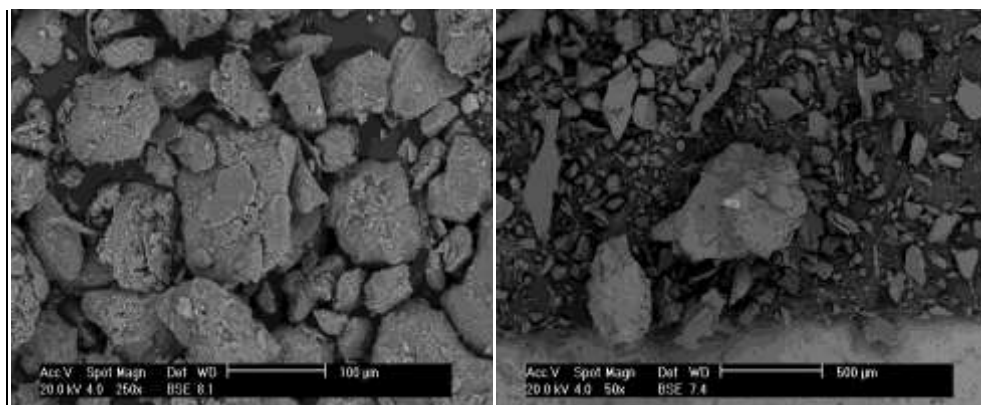


Figura 3.3 - Fotomicrografia da argila e do pó de brita (MEV – 250x e 50x).

A Figura 3.3 apresenta a morfologia das partículas da argila, ou seja, é formada por distribuição de tamanhos relativamente uniformes com grãos arredondados e alongados, bem como apresenta a morfologia das partículas do pó de brita, que é formada por distribuição de tamanhos não uniformes com partículas de formas e dimensões variadas (arredondadas, alongadas e prismáticas).

Com as fotomicrografias (Figura 3.4 – A, B, C e D) dos blocos cerâmicos (F1, F2, F3 e F4 respectivamente) sinterizados a temperatura de 1100°C (temperatura que proporcionou melhores resultados), observa-se a formação de mais uma fase (vítrea) entre os grãos. Com a adição do pó de brita ocorre à diminuição da massa que envolve as fases e à medida que se eleva o percentual de pó de brita adicionado à argila na confecção dos corpos-de-prova esta massa permanece reduzindo, o que indica que os corpos-de-prova evoluíram significativamente do ponto de vista da dureza do material.

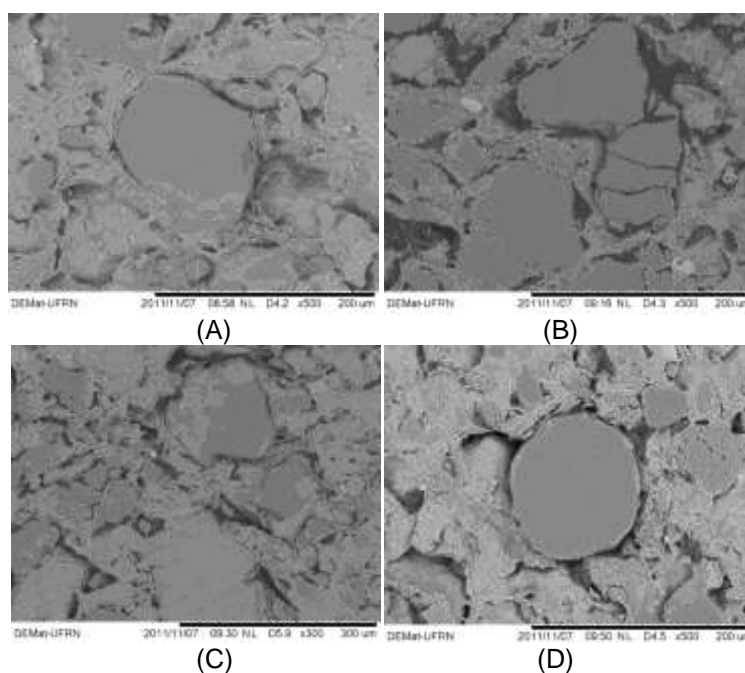


Figura 3.4 – Fotomicrografia A, B, C e D dos blocos F1, F2, F3 e F4 (MEV – 300x e 500x).

Observando a Figura 3.4, constata-se um reduzido grau de porosidade nos corpos-de-prova proporcionado pelo processo de sinterização (1100°C). Identifica-se também uma diferença marcante entre as microestruturas, ou seja, na fotomicrografia da F1 apresenta uma estrutura formada por grãos interligados e contornos de grão mais bem definidos, enquanto que nas fotomicrografia da F2 e F3 apresenta partículas parcialmente definidas, sem interligação entre as mesmas e com maior quantidade de vazio (poros) e, finalmente, na fotomicrografia da F4

apresenta superfícies arredondadas, o que caracteriza formação de fases amorfas em torno dos grãos, formadas durante o processo de sinterização por fase líquida dos componentes presentes nas matérias-primas com características fundentes.

Considerando que a adição do pó de brita proporciona a elevação da dureza do bloco e observando através da Figura 3.4 o aumento gradativo da porosidade, constata-se que a contribuição do pó de brita para a elevação da resistência à compressão ocorre até a influência do grau de porosidade do bloco superar esta contribuição, o que ocorre após a adição de 10% de pó de brita, conforme constatado nos resultados dos ensaios a seguir.

Após uma análise dos resultados obtidos através da relação entre as medidas dos corpos-de-prova secos e úmidos, observa-se que em todas as amostras estudadas a retração linear de queima ficou na faixa de 4,31% e 7,52%, ou seja, na formulação F1 estes percentuais variaram entre 6,09% e 7,52%, na formulação F2 entre 4,75% e 6,69%, na formulação F3 entre 4,50% e 6,34% e na formulação F4 a variação se deu entre 4,31% e 6,06%. Após observar os resultados, pode-se constatar que quanto mais se acrescenta pó de brita ocorre um decréscimo da retração linear, conforme percentuais médios ilustrados no gráfico da Figura 3.5 abaixo:

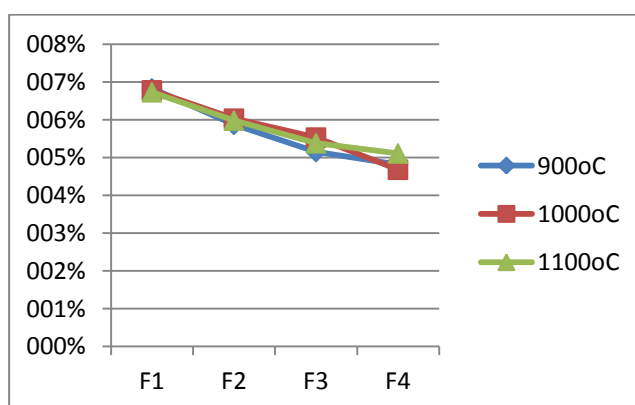


Figura 3.5 - Retrações lineares médias em função das temperaturas de sinterização.

Analisando as retrações lineares dos corpos-de-prova, levando em consideração as respectivas temperaturas de sinterizações dos blocos, constata-se que a 900°C estes percentuais variaram entre 4,31% e 7,34%, a 1000°C estes percentuais variaram entre 4,41% e 7,52% e a 1100°C estes percentuais variaram entre 4,45% e 7,37%, ou seja, com a elevação da temperatura de sinterização, a

retração linear dos corpos-de-prova se mantém constante (com relativa redução provocada pela liberação de gases no processo de sinterização) sem apresentar alterações relevantes, conforme percentuais médios ilustrado no gráfico da Figura 3.6 abaixo:

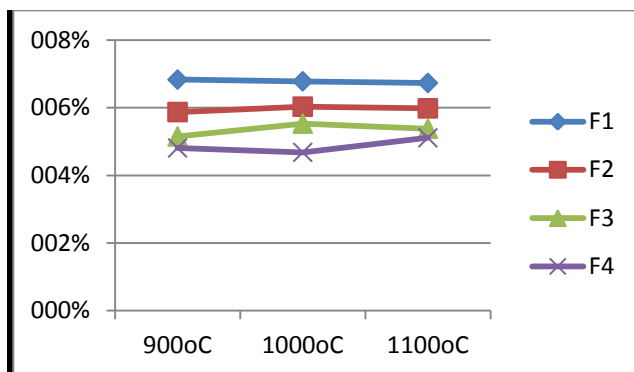


Figura 3.6 - Retrações lineares médias em função das formulações.

Após a análise acerca dos resultados obtidos através do ensaio de compressão destaca-se que: a adição 5% de pó de brita na argila eleva a resistência à compressão em média 7%, a adição 10% de pó de brita na argila eleva a resistência à compressão em média 16% e a adição 15% de pó de brita na argila eleva a resistência à compressão em média 3%, mostrando uma tendência de diminuição da resistência à compressão, caso continue sendo elevado o percentual de pó de brita, conforme gráfico ilustrado na Figura 3.7 abaixo:

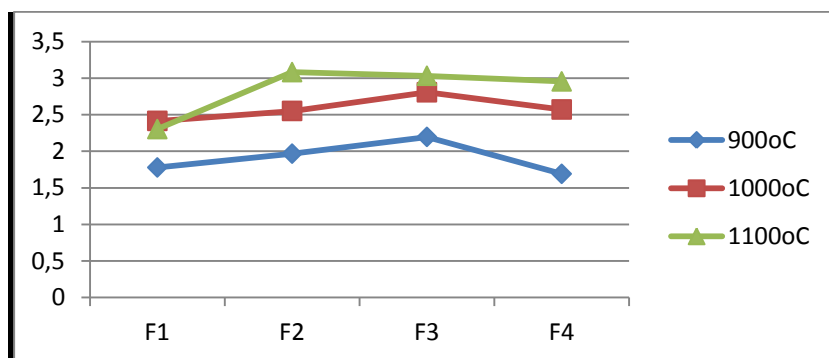


Figura 3.7 - Resistência à compressão média em função das formulações.

No tocante ao ensaio de absorção de água, viu-se que as quatro formulações (F1, F2, F3 e F4) utilizadas encontram-se dentro do intervalo exigido pela Norma ABNT NBR 15270-2, ou seja, entre 8% e 22%.

Após comparar os resultados obtidos, observou-se que o percentual de absorção de água dos corpos-de-prova eleva-se inicialmente se comparado com a

formulação F1 e em seguida diminui com a adição de pó de brita, ou seja, sem a adição do pó de brita na argila o percentual de absorção médio é de 12,68%, com a adição de 5% de pó de brita na argila o percentual de absorção médio é de 13,06%, com a adição 10% de pó de brita na argila o percentual de absorção médio é de 12,66% e, finalmente, com a adição 15% de pó de brita na argila o percentual de absorção média é de 11,22%, conforme gráfico ilustrado na Figura 3.8 abaixo:

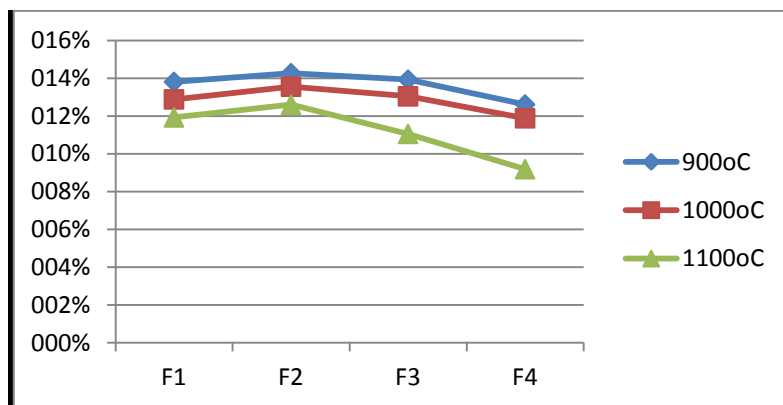


Figura 3.8 - Absorção de água média em função das formulações.

A menor absorção de água conseguida neste trabalho foi de 8,00% para a amostra da formulação F4 (85% de argila e 15% de pó de brita) sinterizado a 1100°C. Os corpos-de-prova desta formulação e sinterizados nesta temperatura apresentaram os menores valores de absorção de água. A maior absorção de água conseguida neste trabalho foi de 14,50% para a amostra da formulação F2 (95% de argila e 5% de pó de brita) sinterizado a 900°C. Os corpos-de-prova desta formulação e sinterizados nesta temperatura apresentaram os maiores valores de absorção de água.

Após a obtenção dos resultados, foi elaborada a curva de gresificação (representação gráfica simultânea das variações da absorção de água e retração linear das peças) do material utilizando a formulação mais satisfatória (F3) para os trabalhos, com o objetivo de determinar a temperatura de sinterização ideal do ponto de vista de aproveitamento das massas, ou seja, indicando o ponto ótimo de queima do material, conforme gráfico demonstrado na Figura 3.9 abaixo:

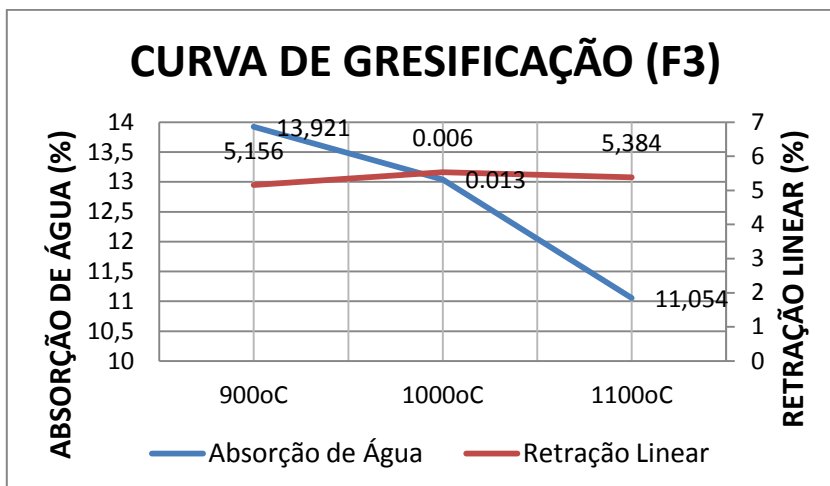


Figura 3.9 - Curva de Gresificação.

O comportamento observado no gráfico anterior está associado à redução acentuada do material que é provocada inicialmente pela perda das hidroxilas dos argilominerais presentes na argila e, mais adiante, pela formação de fases líquidas ocorridas nos elementos com características fundentes.

Os valores relativamente elevados de absorção de água estão associados à granulometria dos materiais usados, cuja quantidade de partículas grossas (até 38 mesh) reduz a densidade do material e conseqüentemente aumenta a sua temperatura de gresificação.

O alto teor de CaO oriundo da calcita (CaCO_3) em altas concentrações (acima de 5%) provocou o aumento da porosidade dos corpos-de-prova devido a liberação de CO_2 durante a sua decomposição e conseqüentemente aumenta a sua temperatura de gresificação.

Após a elaboração da curva de gresificação, constatou-se que a temperatura de queima mais indicada para a Formulação F3 é de aproximadamente 990°C, devido aos melhores índices de absorção e retração linear.

4 CONCLUSÃO

A retração linear dos corpos-de-prova se manteve relativamente constante com as diferentes temperaturas de sinterização, cujas variações não excederam 5%, independentemente da formulação utilizada. A retração linear dos corpos-de-prova mostrou-se inversamente proporcional à quantidade de pó de brita adicionada à argila na confecção de blocos cerâmicos híbridos, ou seja, numa mesma

temperatura de sinterização, quanto maior o percentual de pó de brita utilizado, menor a retração dos blocos.

Quanto à absorção de água, viu-se que a adição de 5% de pó de brita adicionada a argila, na confecção de blocos cerâmicos híbridos, elava a sua absorção em até 5,28% (1000°C), exceto para os corpos-de-prova sinterizados a 1100°C, onde não houve variação no percentual de absorção. Este comportamento não se mantém com a permanente adição de pó de brita, ou seja, a adição de 10% de pó de brita à argila na confecção de blocos cerâmicos híbridos diminui a sua absorção em até 3,91% (1000°C) e a adição de 15% de pó de brita à argila na confecção de blocos cerâmicos híbrido novamente diminui a sua absorção em até 8,82% (1000°C).

No tocante à resistência à compressão dos corpos-de-prova, constatou-se que seu comportamento é diretamente proporcional à elevação da temperatura de sinterização e que a Formulação F3 é a que obteve maior elevação da resistência, levando em consideração todas as temperaturas de sinterização utilizadas nos experimentos, ou seja, os blocos com a adição de 10% de pó de brita e sinterizados a 1100°C obtiveram resistências à compressão mais satisfatórios, elevando a resistência dos blocos em 24%.

Finalmente, após compilação dos resultados obtidos experimentalmente constata-se que, levando em consideração a retração linear, percentual de absorção de água e resistência a compressão, os blocos cerâmicos híbridos com a adição de 10% de pó de brita (**F3**) e sinterizados a **1100°C** obtiveram os resultados mais satisfatórios.

Considerando o resultado da curva de gresificação a partir dos dados dos ensaios de absorção de água e retração linear dos corpos-de-prova referentes à formulação F3, foi identificada a temperatura de sinterização ideal ou temperatura de gresificação (aproximadamente **990°C**) para que a relação entre o percentual de absorção e o percentual de retração seja a mais favorável possível do ponto de vista de aproveitamento de matéria-prima na confecção dos blocos cerâmicos.

5 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10520-1:**

Informações e Documentações – Citações em documentos - Apresentação. NBR 10520. Rio de Janeiro, 2002.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15270-2**: Componentes Cerâmicos Parte 2: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural – Terminologia e Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15270-3**: Componentes Cerâmicos Parte 3: Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

STUDIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF A NEW TYPE OF CERAMIC BLOCK "HYBRID" FOR MASONRY BUILDINGS IN STRUCTURAL

ABSTRACT

This paper presents the development of a hybrid ceramic block the use of which resides in the buildings executed with walls. This work seeking new materials and / or products with the purpose of increasing the compressive strength of the ceramic blocks, without neglecting other properties (water absorption and linear shrinkage). The obtained material (clay powder and crushed), the packaging (in percentages ranging from 0%, 5%, 10% and 15% substitution of crushed clay powder), the identification and measuring (weights and lengths) of the bodies of the test piece was performed on the approach characterized by fluorescence and Mineralogy SEM of these materials as well as the characterization (SEM) of ceramic blocks after the sintering (temperature 900oC, and 1000oC 1100oC rate 5oC/minute heating and soak for 1 hour). Then the samples were subjected to the tests (compressive strength and water absorption) and the respective calculated linear shrinkage. After conducting the analysis of the results of these tests (according to the criteria and parameters required by the ABNT NBR 15270) was found to block the "hybrid" with the addition of 10% crushed powder obtained the best results, increasing the compressive strength at 16 % without compromising the other parameters required by the Standard.

Key-words: Ceramic block, gravel dust, industrial recycling, environmental, structural masonry.