

ESPUMA DE POLIURETANO (PU) RIGIDO DE ALTA DENSIDADE PÓS-CONSUMO NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA AREA HABITACIONAL

Luiz Guilherme Meira de Souza¹, lguilherme@dem.ufrn.br
Maria Kalionara de Freitas Mota², kalionarafreitas@yahoo.com.br
Luiz Guilherme Vieira Meira de Souza³, lguilherme_souza@hotmail.com
Jerônimo Mailson Cipriano⁴, jeronimo@ifrn.br
Brunno Henrique de Souza Santiago⁵, bruno_henrique@yahoo.com.br
Reginaldo Dias dos Santos⁶, reginaldodias@yahoo.com.br

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal/RN

Resumo: A indústria de polímeros é responsável pela grande geração de resíduos sólidos no meio ambiente através de embalagens, descartáveis, artefatos domésticos, eletro-eletrônicos, etc. Em particular, a indústria do surf no Brasil vem a mais de 30 anos gerando resíduos sólidos tóxicos e inflamáveis, em todos os processos produtivos e pós-consumo, que são dispostos em aterros ou "lixões", sem qualquer tipo de tratamento específico, sobretudo de materiais poliméricos. Cerca de 50-70% de matéria-prima é desperdiçada na fabricação de uma prancha de surf. Uma das possibilidades de aproveitamento dos resíduos de PU é a sua utilização como substituínte parcial do cimento e areia, no traço, para fabricação de componentes (blocos) de vedação na construção civil. Neste trabalho foi utilizada a espuma na forma de pó e flocos do PU expandido incorporados a areia, cimento, gesso e água. Foram inicialmente fabricados corpos-de-prova (CPs) utilizando o PU sob a forma de pó, flocos e uma mistura (equivalente) na proporção de 1:1,5:0,25:0,25 e 1:2:0,25:0,25, respectivamente gesso, PU, cimento e areia com 40% em volume de água. Foram determinadas as propriedades do compósito segundo as normas específica. A proporção de 1:1,5 demonstrou melhor performance sendo então desenvolvido os blocos de vedação, que apresentaram baixo custo de fabricação tendo em vista a substituição parcial do cimento e agregados, além de apresentar um processo simples de fabricação, não necessitando de investimento com maquinário.

Palavras-chave: Espuma de poliuretano, Compósitos, Blocos de vedação, conforto térmico.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do surf no Brasil apresenta cerca de 600 empresas disputando cerca de 58.000.000 de consumidores potenciais. São produzidas aproximadamente 50.000 pranchas, anualmente em nosso país. Em consequência destes números tem-se a geração e o aumento dos resíduos sólidos decorrentes dos processos produtivos e pós-consumo. Segundo Grijó, P. E. A. e Baasch, S. S. N. (2001), para produção de uma prancha de surf são desperdiçadas entre 50-70% de matéria-prima, com cerca de 30% correspondendo ao poliuretano (PU), mostrado na Figura 1. Estes dejetos possuem longos prazos de decomposição e quando descartados sem um tratamento específico, tornam-se potenciais agentes, causando impacto ambiental e ameaça à saúde pública.



Figura 1. Resíduos oriundos do desbaste dos blocos de PU.

O processo de fabricação de pranchas de surf gera uma gama de resíduos tóxicos e inflamáveis. Estima-se que no Estado do Rio Grande do Norte existam cerca de sete fábricas, sendo gerados mais de 50 toneladas/mês de resíduos de PU que são descartados e coletados pela limpeza urbana sem qualquer tratamento. Este material tem potencial para ser recuperado e re-processado como matéria-prima, principalmente, para construção civil possibilitando gerar oportunidades, além de propiciar a diminuição do impacto ambiental e dos custos com coleta do município.

Para a produção de pranchas de surf diversos processos são empregados e em cada um deles vários rejeitos são gerados. O bloco de poliuretano (PU) já vem pré-moldado através da expansão do PU. O “shaper”, denominação do responsável por dar a forma final da prancha, desenha o “out line” (forma final) por meio de plaina elétrica e lixas. Nesta etapa são descartados flocos e pó de poliuretano, um resíduo tóxico e inflamável. A Tabela 1 apresenta uma estimativa dos resíduos sólidos gerados no Brasil e no mundo.

Tabela 1. Estimativa dos resíduos sólidos no Brasil e no mundo.

Parâmetros	Mundo	Brasil
Produção de pranchas (unidades)	800.000	50.000
Resíduos sólidos (ton)	6.093	381

Fonte: (Grijó, P. E. A. e Baasch, S. S. N., 2001).

Esse trabalho apresenta uma forma de aproveitamento dos resíduos de PU, utilizando-os na produção de artefatos tipo concreto leve de baixo custo e significativas propriedades mecânicas e térmicas, substituindo parcialmente o cimento e a areia. Serão produzidos blocos para alvenaria de vedação e os resultados de seus ensaios mecânicos e térmicos serão comparados com os blocos que utilizam resíduos de EPS.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nas dependências do Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar do Núcleo Tecnológico da UFRN.

Os blocos foram construídos em material compósito constituído por cimento tipo Portland, areia fina, gesso, resíduos de PU e água. Foram estudadas duas composições (traços) para o compósito. Para estes CPs foram utilizadas as proporções (traços) de 1:1,5:0,25:0,25 (T_1) e 1:2:0,25:0,25 (T_2), respectivamente de gesso, resíduo (EPS e PU), cimento e areia, bem como cerca de 40% em volume de água. A Tabela 2 apresenta o plano de dosagem adotado com os materiais utilizados.

Tabela 2. Proporção dos componentes dos compósitos estudados (em volume).

Materiais	T_1 (ml)	T_2 (ml)
Cimento	80	80
Resíduo	750	1000
Areia	70	70
Gesso	500	500
Água	40% em vol. da massa total	40% em vol. da massa total

O primeiro ensaio realizado foi a determinação da massa específica do compósito proposto. Outra característica levantada, nesta etapa inicial, foi quanto à distribuição granulométrica do gesso, cimento, areia e PU (Figura 2) utilizados, a fim de obter-se uma análise do ponto de vista qualitativo da forma de empacotamento de todos os componentes envolvidos.



Figura 2. Resíduos de PU utilizados.

A partir dos traços descritos anteriormente foram desenvolvidos CPs, utilizando PU (flocos e pó) para serem estudados em análise comparativa. Foram preparados seis CPs com dimensões aproximadas de 10,0cm de altura x

5,0cm de diâmetro de acordo com norma vigente, para cada traço utilizando-se de forma distinta os resíduos para o ensaio de compressão.

Para o ensaio de absorção de água foram confeccionados três CPs para cada traço, assim como para os ensaios com os CPs impermeabilizados. No ensaio de desempenho térmico foram confeccionados CPs segundo as dimensões de 44cm e 53 cm de diâmetro externo para cada traço, conforme mostra a Figura 3.



(a)

(b)

Figura 3. CPs desenvolvidos segundo os traços T₁ e T₂

Todos os corpos-de-prova foram moldados mantendo-se o mesmo procedimento de mistura dos materiais, cura e desmoldagem, que obedece à seqüência descrita a seguir:

1. Preparação dos moldes – colocação de fixadores e desmoldante;
2. Formulação – medição dos volumes de cada componente;
3. Mistura da massa sólida – mistura dos componentes com o auxílio de uma espátula;
4. Preparação do compósito – colocação da massa sólida na água e mistura como auxílio de uma espátula;
5. Colocação da pasta nos moldes (Figura 4) – preenchimento dos moldes;
6. Fabricação de componentes – moldagem e cura;
7. Desmoldagem – retirada dos fixadores e desmolde após 30 minutos da moldagem;
8. Armazenamento – identificação e colocação em ambiente protegido para cura.



Figura 4. Moldes utilizados para moldagem dos CPs.

A cura dos corpos-de-prova foi feita no laboratório, com temperatura da ordem de (30 ± 2) °C. Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova secos ao ar por 72 dias. Tomando como premissa que o compósito será utilizado na fabricação de blocos de vedação, foram realizados ensaios com o objetivo de determinar o comportamento desses componentes. Foram também determinados o comportamento do compósito diante da água e seu desempenho térmico. Para estudar o comportamento mecânico do compósito foram realizados ensaios de resistência à compressão.

Foram medidas as densidades aparente dos CPs dos compósitos desenvolvidos com o resíduo de PU sendo comparadas com as dos compósitos de EPS, anteriormente desenvolvidos e estudados. As massas foram medidas com uma balança digital. Após a cura dos CPs foram corrigidos os desníveis para posterior execução dos ensaios de compressão, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5. CPs “capeados” para os ensaios de compressão.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Cimento da UFRN utilizando-se uma prensa hidráulica, da marca SHIMADZU, com tensão de alimentação de 220–380 V, carga máxima de 300 toneladas, conforme mostra a Figura 6.

Para cada CP efetuou-se o dimensionamento da altura e diâmetro sendo utilizados limite de resistência à ruptura de 95 KN e 5,0 mm/min de deformação. Os resultados foram comparados com os dos compósitos de EPS, anteriormente estudados.



Figura 6. Ensaio de resistência à compressão.

Após os ensaios foram levantados os dados referentes à força (kN) e a máxima tensão de ruptura (MPa). A média e variância destes parâmetros foram obtidas através dos dados coletados. Após o ensaio com o CP procedia-se a inspeção visual sendo realizada análise fotográfica da superfície de fratura dos CPs utilizando-se máquina digital.

Os ensaios de absorção de água foram executados medindo-se a massa dos blocos antes e após 24h de imersão em tanque contendo água, conforme mostra a Figura 7.

Foram realizados ensaios com os CPs, segundo os traços T₁ e T₂, sem e com impermeabilizante, conforme mostra a Figura 8. O impermeabilizante utilizado foi da marca Neutrol (tinta asfáltica impermeável) da Vedacit Impermeabilizantes sendo aplicada uma camada fina e homogênea com o auxílio de um pincel.



Figura 7. Determinação da absorção de água.



Figura 8. CPs após a impermeabilização.

A caracterização térmica dos compósitos desenvolvidos serviu como subsídio para a definição do tipo de elemento construtivo, parede de vedação ou divisória, a ser desenvolvido.

Os compósitos foram ensaiados para a avaliação de sua eficiência térmica seguindo-se os procedimentos: enchia-se o tubo de PVC de 20 mm colocado no diâmetro interno do tubo-compósito com água quente na temperatura

entre 70 e 80°C, e com a utilização de dois termopares media-se a temperatura da água no interior do tubo de PVC e da temperatura externa do compósito, sendo realizados medições em dois em dois minutos até que se atingisse um patamar estável em relação à temperatura interna (Souza, 2002). A Figura 9 apresenta o tubo compósito isolante em ensaio para caracterização térmica.

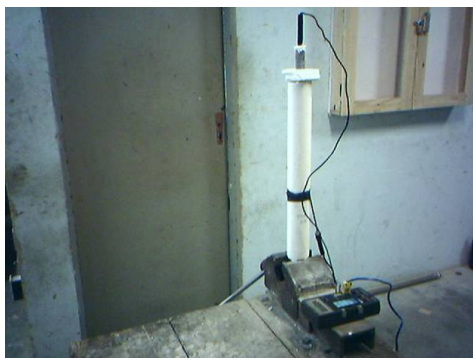


Figura 9. Aparato experimental utilizado para determinação do desempenho térmico.

Após a realização de estudos preliminares foi selecionado o traço com o resíduo do PU com os melhores resultados. A produção de componentes habitacionais utilizando resíduos de PU englobou os mesmo processos utilizados na preparação dos corpos-de-prova desde a preparação da massa até o controle de qualidade do produto.

Foram confeccionados moldes de madeira para a moldagem dos blocos pré-moldados com dimensões de 30cm de largura por 52cm de comprimento e 26cm largura por 30cm de comprimento ambos vasados com 03 (três) perfis tubulares, no comprimento, de 2,3cm de diâmetro distantes 1,5cm entre eles.

Nesta etapa efetuou-se a construção, em parte, de uma unidade habitacional alternativa utilizando os blocos desenvolvidos. A avaliação consistiu em levantar problemas na montagem dos blocos, no que diz respeito à estabilidade de fixação entre blocos e com o alicerce. Foi avaliado nesta etapa de forma qualitativa o comportamento dos blocos em meio a condições climáticas da cidade de Natal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São apresentados a seguir os resultados de ensaios que caracterizam térmica e mecanicamente o compósito proposto.

Através da metodologia apresentada determinou-se a densidade aparente do PU apresentada na Tabela 3 juntamente com a relativa a alguns materiais utilizados na formulação do compósito proposto.

Tabela 3. Densidades de alguns materiais utilizados na construção civil.

Tipo de material	Densidade (g/ml)
EPS	0,025
Gesso	0,8
Cimento	1,2
Areia Fina	1,4
PU	0,039

Através dos valores apresentados observa-se que o PU tem uma densidade próxima a do EPS que já vem sendo aplicado na construção civil em grande escalada. Esta diferença deve-se ao fato do PU estudado sendo tipo rígido e de alta densidade.

Os resíduos de PU não necessitam de tratamento prévio, sendo utilizadas como recebidas das fontes produtoras. Eventualmente necessitam de correção da granulometria, antes de serem levadas à linha de produção. A cal hidratada, que pode ser comprada em sacos ou a granel, é adquirida no comércio, sendo, na prática das dosagens, considerada como seca.

Devido à densidade da mistura foi observada a necessário da adição de uma quantidade maior de água em relação à estimada em 30%. Foi observada uma alta viscosidade da massa em virtude de seus componentes dificultando a mistura e homogeneização Foram realizados testes com 40% e 50% em vol. de água, sendo a proporção de 40% considerada mais adequada.

A Figura 10 mostra as etapas de preparação da massa e moldagem dos CPs. Foi observada uma melhor mistura do compósito de PU, segundo os traços T_1 e T_2 em relação aos compósitos de EPS, em virtude da baixa densidade do EPS que dificulta o processo de mistura/homogeneização.



Figura 10. a) Preparação da massa. b) CPs moldados

A Tabela 4 apresenta os resultados das densidades obtidas para os corpos-de-prova moldados segundo as proporções T_1 e T_2 , variando-se os teores de resíduo de PU. Os resultados também apresentam um comparativo com os resultados obtidos com o compósito de EPS.

Tabela 4. Resultados comparativos das médias entre as densidades aparentes para os compósitos de PU e EPS.

Tipo de compósito	Densidades aparentes médias (g/ml)
PU - T_1	1,209
EPS - T_1	1,181
PU - T_2	1,175
EPS - T_2	1,085

A densidade média dos compósitos de PU e EPS apresentou valores próximos para as duas composições estudadas. No que diz respeito ao PU a densidade do traço 1 foi 2,9% maior em relação ao traço 2, enquanto que para o EPS a mesma relação foi de 8,8%. A densidade aparente média do compósito que utiliza EPS foi sempre menor para os dois traços utilizados. Uma maior proporção de resíduo conduziu sempre a uma maior densidade aparente. O gráfico da Figura 11 mostra o comportamento assumido por esse parâmetro, para os dois tipos de compósitos e suas duas formulações estudadas.

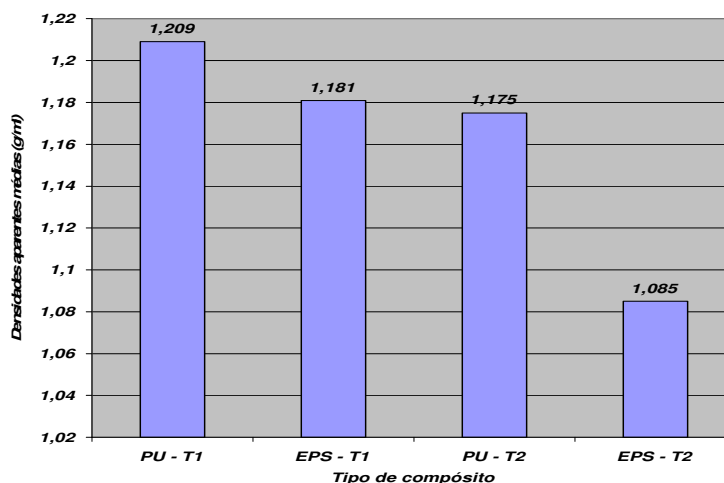


Figura 11. Comportamento assumido pela densidade aparente média.

A Tabela 5 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova moldados segundo as proporções T_1 e T_2 , variando-se os teores de resíduo de PU. Os resultados também apresentam um comparativo em relação aos obtidos com o compósito de EPS.

Tabela 5. Resultados comparativos dos ensaios de compressão para os compósitos de PU e EPS.

Blocos	MPa (média)
PU - T ₁	1,53
EPS -T ₁	1,92
PU - T ₂	1,21
EPS -T ₂	1,36

Os compósitos com menor proporção de resíduos apresentaram maior resistência mecânica. O compósito com PU apresentou menor resistência mecânica que o que é composto por EPS para os dois traços estudados. No traço mais resistente mecanicamente o compósito com EPS foi 25,5% superior. A resistência mecânica apresentada pelo PU no Traço 1, esteve um pouco inferior a que aponta a norma para alvenaria de fechamento. Acredita-se que um aumento na proporção de cimento poderá torná-lo apto para esse fim. O gráfico da Figura 12 mostra o comportamento assumido por esse parâmetro para os dois tipos de compósitos e suas duas formulações estudadas.

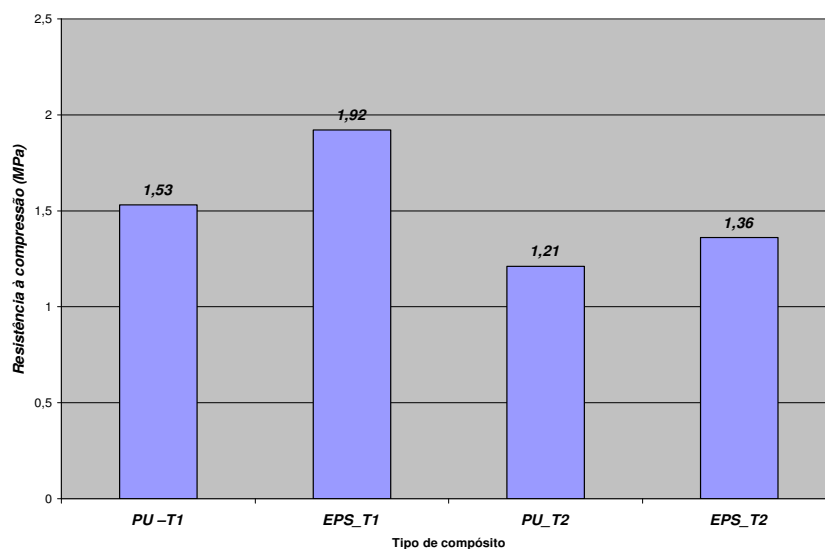


Figura 12. Comportamento assumido pela resistência à compressão média.

A Tabela 6 apresenta a média dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água dos corpos-de-prova moldados segundo as proporções T1 e T2, variando-se os teores de resíduo de PU. Os resultados também apresentam um comparativo com os resultados obtidos com o compósito de EPS.

Tabela 6. Resultados comparativos dos ensaios de absorção de água para os compósitos de PU e EPS.

CPs	AA (%)
EPS -T ₁	51,86
PU - T ₁	61,93
PU - T ₁ impermeabilizado	75,8
PU - T ₂ impermeabilizado	71,94

Observou-se uma grande absorção de água nos compósitos tendo em vista suas características higroscópicas e o volume de resíduo empregado, porém existem alternativas viáveis para minimizar este efeito. Os resultados acima apontam para o uso inadequado do impermeabilizante ou o mesmo não ser apropriado para tal fim. Porém com a utilização de impermeabilizantes adequados é possível reduzir o teor de absorção de água, de forma a garantir a integridade física do bloco. O gráfico da Figura 13 mostra o comportamento assumido por esse parâmetro para os dois tipos de compósitos e suas duas formulações estudadas.

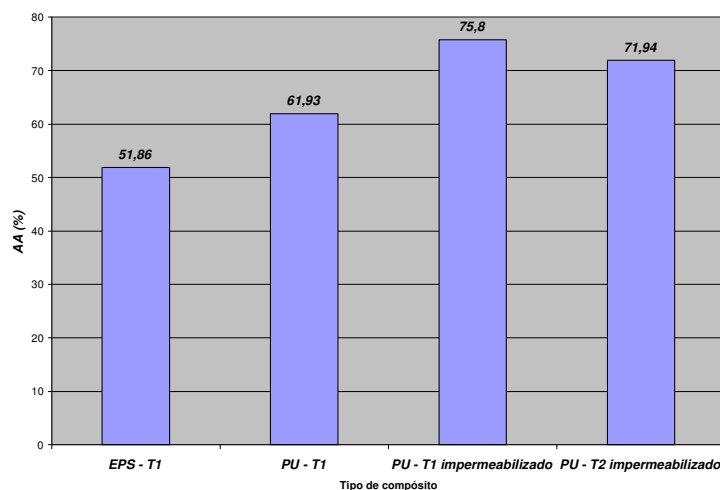


Figura 13. Comportamento assumido pela absorção de água.

Nas Figuras 14 e 15, observam-se as curvas de comportamento térmico (CT) para as temperaturas médias das paredes dos tubos em função do tempo, respectivamente, para os traços T₁ e T₂, com diâmetro de 53 cm.

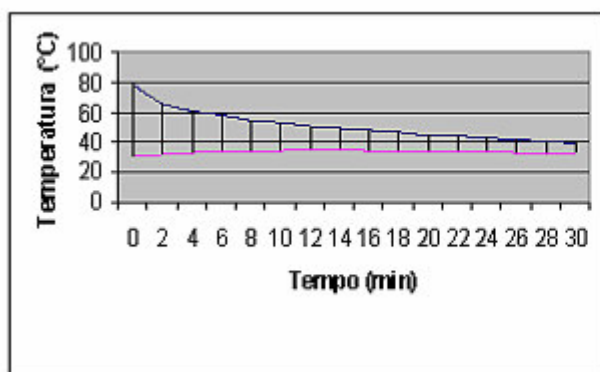


Figura 14. CT- PU-T1 - (D = 53 cm).

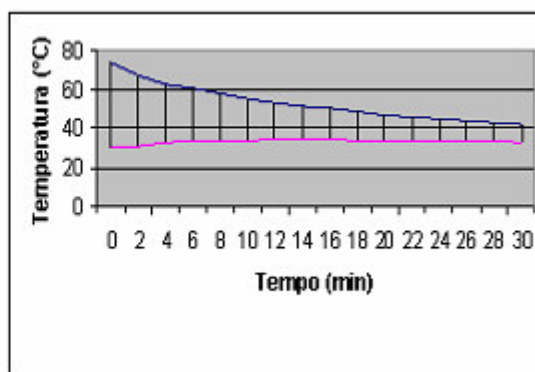


Figura 15. CT PU-T2 (D = 53 cm).

Apesar do compósito com o Traço 2 apresentar melhor resistência térmica, optou-se pela construção dos blocos para posterior fabricação de uma unidade habitacional com o traço 1, pela sua maior resistência térmica, melhor trabalhabilidade, maior facilidade de homogeneização e adequada resistência térmica. A Figura 16 mostra os blocos fabricados com um compósito que utiliza resíduos de PU.

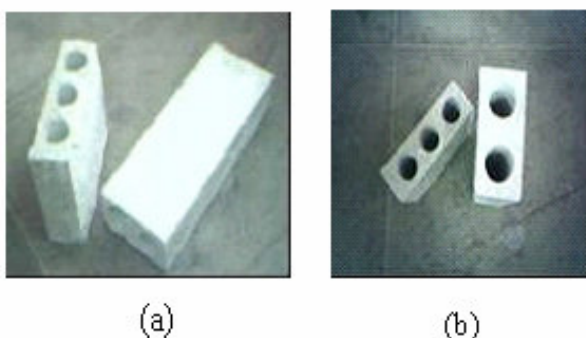


Figura 16. Blocos de concreto leve com resíduos de PU.

4. CONCLUSÕES

O compósito produzido a partir do **Traço 1** gerou uma argamassa mais adequada para fabricação de componentes, apresentando valores de resistência mecânica concernentes com a norma vigente (NBR 6461 - ABNT, 1983a e NBR 7171 - ABNT, 1983b), bem como desempenho térmico e características físico-químicas, o que atestam seu uso na fabricação de componentes pré-moldados, como blocos para alvenarias de vedação;

O desempenho térmico dos blocos com resíduo de PU deixou evidente a vantagem do seu uso como forma de reduzir a transferência de calor do meio externo para o meio interno. Em comparação com outros elementos convencionais como tijolo de oito furos e bloco de cimento vazado, os blocos de PU apresentaram desempenhos superiores;

O compósito estudado apresenta viabilidade de utilização para construção de casas populares, propiciando conforto térmico e resistência mecânica apropriada;

O reaproveitamento dos resíduos de PU na construção civil contribui para a redução do custo na produção dos blocos e permite, também, reduzir o impacto causado pelo descarte desse material no meio ambiente;

O bloco desenvolvido apresentou-se a susceptível à ação da água devido ao elevado índice de absorção e comportamento permeável; para isso se faz necessário o uso de impermeabilizante em suas superfícies interna e externa.

A incorporação de uma maior quantidade de resíduos de PU resulta em um compósito mais frágil;

Devido à sua geometria e qualidade superficial do bloco o mesmo dispensa o uso de argamassa para assentamento, reduzindo o tempo de execução e, conseqüentemente, o custo total da obra.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bezerra L. A. C.; 2003, "Análise do Desempenho Térmico de Sistema Construtivo de Concreto com EPS como Agregado Graúdo"; Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/UFRN, Natal – RN.
- GRIJÓ, P. E. A.; BAASCH, S. S. N.; 2001, "Estudo Avançado para o uso dos Resíduos Sólidos da Indústria do Surf como Agregado Alternativo na Construção Civil"; 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Machado, M.; 2003, "Materiais Compósitos"; Editora da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Souza, L.M.; 2002, "Viabilidades térmica, econômica e de materiais da utilização de tubos de PVC como elementos absorvedores em coletores de um sistema de aquecimento de água por energia solar"; Tese de Doutorado do Programa de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais da UFRN, Natal.
- Eires, R.; Jalali, S.; Camões, A.; 2007, "Novos materiais de construção a base de gesso e desperdícios industriais"; 3º Congresso Nacional Coimbra Portugal..
- Souza, L.G.M., et al.; 2006, "Compósito a base de gesso e EPS para fabricação de casas populares" 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR.
- Santos, R. D.; 2008, "Estudo térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e eps para construção de casas populares", Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal
- Souza, et. al.; 2006, " Reservatório térmico alternativo para uso em sistemas solares de aquecimento de água", 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu.
- Souza, et. al.; 2005, "Composite for thermal isolation in hot water conductive tubes in systems of heating for solar energy", 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

POLYURETHANE FOAM (PU) DRIVE HIGH DENSITY AFTER CONSUMPTION IN THE MANUFACTURE OF BLOCKS OF SEALING FOR LOW COST HOUSING AREA

Abstract. The polymer industry was responsible for the generation of solid waste into the environment through packaging, disposable, household artifacts, electronics, etc.. In particular, the surf industry in Brazil has more than 30 years generating toxic waste and flammable in all production processes and post-consumption, which are landfilled or "garbage" without any specific treatment, especially polymer materials. Approximately 50-70% of raw material is wasted in the manufacture of a surfboard. One possibility for recovery of waste PU is its use as a substitute part of the cement and sand, the dash for the manufacture of components (blocks) sealing the building civilization. In this work we used the foam in the form of powder or flakes of expanded PU embedded in sand, cement, gypsum and water. Were originally manufactured soils-proof (PCs) using the PU in the form of powder, flakes and a mixture (equivalent) at a ratio of 1:2:0 and 1:1,5:0,25:0,25, 25:0,25, respectively plaster, PU, cement and sand with 40% by volume of water. We determined the properties of the composite according to specific standards. The proportion of 1:1.5 showed the best performance and then developed the bricks, which had low manufacturing cost in view of the partial replacement of cement and aggregates, and presents a simple process of manufacture, not requiring investment machinery.

Keywords: Polyurethane foam, composites, bricks, thermal comfort.