

## UTILIZAÇÃO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS A BASE DE GESSO: PROJETO INTERDISCIPLINAR DO CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS NA FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

A. Dantas<sup>1</sup>; D. R. Marinho<sup>1</sup>; F. P. Araújo Jr<sup>1</sup>; R. F. Vasconcelos<sup>1</sup>; C.S. Mota<sup>1</sup>; J. B. Azevedo<sup>1</sup>.

Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã - CEP 41650-010 – Salvador, BA.  
1 Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC  
franciscoaraujojr25@gmail.com

### Resumo

*A busca por materiais para construção civil oriundos de resíduos vem sendo incentivada devido a questões ambientais. Dentro deste contexto, foi proposto aos alunos do curso de Engenharia de Materiais do Senai Cimatec, a obtenção de um material compósito aplicável neste setor. Sendo assim, este trabalho apresentará os resultados obtidos por um grupo de alunos que utilizou o gesso como matéria prima principal para obtenção de blocos. No desenvolvimento também foram utilizados materiais alternativos como vidro, isopor e óleo de cozinha para compor formulações definidas com o auxílio de DOE (Design of Experiment). Os blocos foram caracterizados através de ensaio de resistência a compressão, capacidade de absorção de água e densidade. Os resultados das variáveis de resposta indicaram pouca influência do vidro. Foram definidos outros fatores, tais como percentual de água, óleo e isopor, assim foi possível reduzir a massa específica, aumentar a resistência à compressão e deixar o material hidrofóbico.*

Palavras-chave: Gesso; propriedades mecânicas; planejamento experimental.

### INTRODUÇÃO

O mundo vive em constante mudança e junto com ela vem à degradação ambiental. A necessidade crescente de reposição de matérias primas para o consumo humano faz necessário alternativas para suprir a demanda mundial protegendo o meio ambiente sem afetar a economia. Nos últimos tempos, tem havido um aumento gradativo nas construções da indústria civil. Devido a essa ascendência, surge a necessidade de se mudar os insumos necessários para atender a essa demanda. A partir dessa ideia, é crescente o estudo para emprego da sustentabilidade na construção civil e nos insumos necessários para a execução dos mesmos. Essa problemática se torna competência não apenas do setor de

construção civil, mas ambiental englobando a seleção e desenvolvimento de materiais <sup>[1,2]</sup>.

O crescimento desordenado, além do surgimento de novas concepções arquitetônicas e novos materiais, faz com que frequentemente as construções passem por adaptações e modificações, gerando, deste modo, mais resíduos. O crescimento econômico ocasiona, também, o crescimento do setor de construção, o que acarreta um aumento na demanda de matéria prima e energia, que por ingerência dos processos produtivos pode aumentar também a geração de resíduos. [4]

Neste contexto, alunos do curso de Engenharia de Materiais da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC foram desafiados a desenvolver um projeto utilizando materiais sustentáveis para aplicação na construção civil. Este projeto, denominado de interdisciplinar, teve como objetivo o desenvolvimento de um material cerâmico ou compósito aplicável na construção civil, podendo ser divisórias ou paredes pré-moldadas. Foi desejável um caráter inovador, com o uso do conceito de sustentabilidade em todo o seu processo de fabricação e obtenção da matéria-prima, sendo necessário o uso de ferramentas da qualidade e uma prévia análise estatística experimental determinando com melhor precisão e menor gasto a melhor formulação produto final.

Vencer a barreira do baixo patamar tecnológico das edificações, através de um gerenciamento mais eficiente para a construção civil, resultará em produtos finais de maior qualidade. Porém, o fato de existir um desenvolvimento crescente nos centros urbanos, que leva as estruturas à obsolescência, e o fato delas possuírem uma vida útil limitada, com necessidade de manutenções e reparos, leva indubitavelmente a uma contínua geração de resíduos. Deste modo, a disposição deste material e o aumento da demanda por matéria prima para execução de novas obras continua a ser um problema que deve ser resolvido. [4]

O compósito cerâmico a ser desenvolvido devia apresentar requisitos técnicos que resultassem em produtos com menor densidade, menor absorção de umidade e maior resistência, partindo da referência a matriz pura de origem. Como matriz de referência foi utilizada o gesso, este material possui ampla aplicação e propriedades como estabilidade volumétrica, resistência ao fogo e isolamento (acústico e térmico), o que permite sua vasta aplicação em construções internas e externas ao longo dos anos <sup>[3]</sup>.

Neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos com este projeto utilizando planejamento experimental como ferramenta para o desenvolvimento e seleção das matérias primas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizadas as seguintes matérias primas: gesso de fundição (tipo Beta), isopor em flocos, vidro tratado com NaOH (soda cáustica) e óleo de soja reutilizado. Os materiais selecionados foram misturados manualmente em um recipiente plástico admitindo percentuais de acordo com o planejamento experimental. Depois da mistura, a massa de gesso foi moldada em uma forma de madeira com as dimensões indicadas pela norma NBR 12129 (50X50mm). Os corpos de prova foram retirados do molde após tempo de cura de 4 horas e secos em estufa durante 24h para realização dos ensaios.

Os ensaios de caracterização foram divididos em compressão, absorção de umidade e densidade. Para o ensaio mecânico de compressão, sua resistência foi medida através da máquina Universal de ensaios mecânicos (EMIC DI-2000) com limite máximo para célula de carga de 20KN ligada ao computador e comandada por software Tesc2000, foi exercido uma força axial sobre corpo de prova cúbico (50 x 50) mm de acordo com a norma NBR 12129. O teste foi realizado em ambiente controlado com temperatura igual a  $(22 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , e utilizado uma velocidade de ensaio de 0,8 mm por minuto com força aplicada de forma contínua.

O ensaio de absorção de umidade foi realizado com base na norma NBR 15310:2009 para ensaio de absorção, executando-se os seguintes passos: O corpo de prova foi pesado e em seguida submerso em água, foram feitas novas medições para sua massa com o tempo de 24h, após a constância de sua massa. A porcentagem de absorção do corpo de prova foi obtida com a equação (1).

$$\left( \frac{\text{Massa final} - \text{Massa inicial}}{\text{Massa inicial}} \times 100 \right) .$$

Equação (1)

Para obtenção da densidade foi usado uma balança semi-analítica da marca (Bioprecisa JY50001) com uma precisão de 0,01g e um paquímetro digital (Diginess

100.174BL) com resolução 0,01mm. Tendo essas informações foi feito um cálculo de densidade de acordo com a equação (2).

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad \text{Equação (2)}$$

De acordo com o planejamento experimental montado com auxílio do software Mini Tab versão 17, os percentuais para cada constituinte estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição do fatorial completo

	Níveis	Fatores			
		Água	Óleo	Isopor	Vidro
Primeiro Fatorial	-	60%	2,5%	0,5%	7,5%
	+	70%	4%	0,75%	10%
Segundo Fatorial	-	45%	2%	0,24%	*
	+	65%	6%	0,72%	*

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do planejamento experimental, foram determinados os fatores de entrada sendo (água; vidro; isopor e óleo) e os fatores de resposta (densidade, absorção de água e resistência à compressão). O procedimento executado utilizou apenas uma réplica, com 16 formulações produzidas de forma randomizada, para avaliar qual a melhor combinação.

### Densidade

A Figura 1 abaixo mostra o gráfico de pareto em que o fator isopor apresenta maior grau de influência para diminuição da densidade.

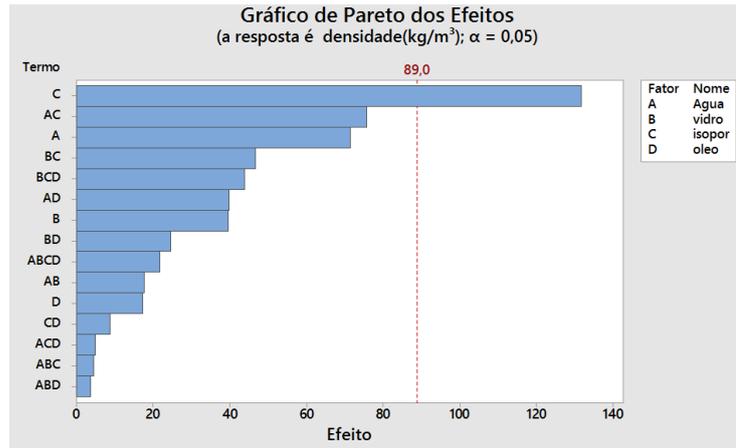


Figura 1. Gráfico de efeitos densidade delineamento experimental 1.

Na Figura 2 pode-se observar o gráfico de efeito em que os fatores separados apresentam sua influencia de acordo com o aumento da quantidade utilizada. Somente o vidro mostra influencia negativa na redução da densidade.

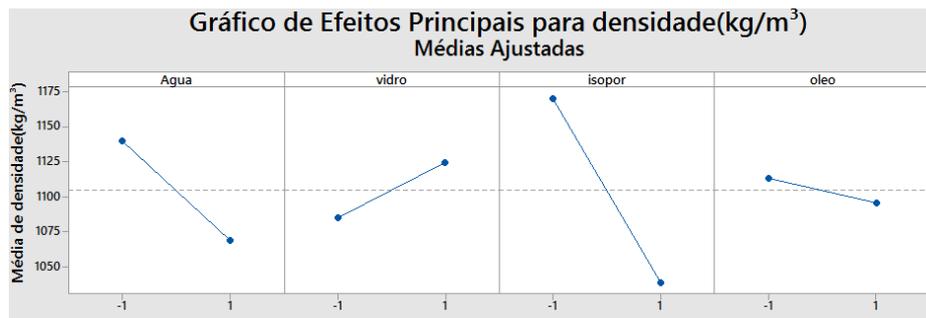


Figura 2. Gráfico de efeitos análise individual para densidade delineamento experimental 1

### Absorção de água

Para análise da absorção de água nenhum dos fatores passou da linha de confiabilidade do projeto, porém ele indica uma leve tendência do fator água e óleo para influência no aumento e diminuição na absorção de umidade respectivamente.

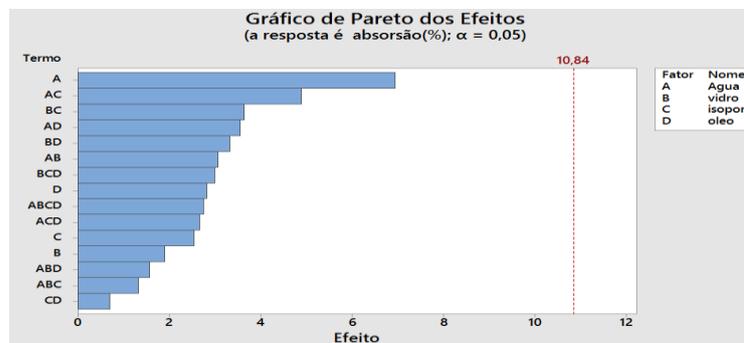


Figura 3 – Gráfico de efeitos absorção de água delineamento experimental 1.

Fazendo a analogia a Figura 4 pode observar que quanto maior quantidade de água maior a absorção, que óleo em maior quantidade diminui a absorção e que o vidro e o isopor também se comportam desta forma.

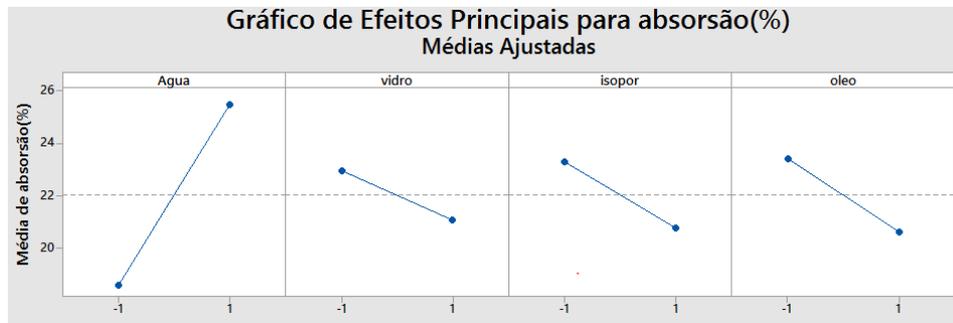


Figura 4 – Gráfico de efeitos análise individual para absorção de água delineamento experimental 1

### Resistência à compressão

Fica evidenciado na Figura 5 que os fatores isopor, vidro e água têm um nível de influência alto na resistência a compressão.

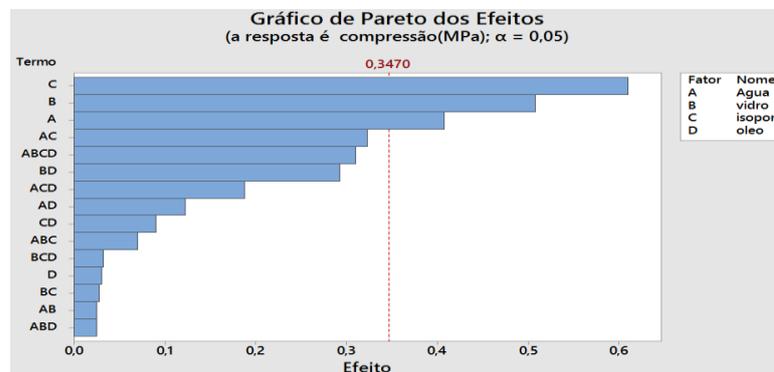


Figura 5 – Gráfico de efeitos sobre resistência a compressão delineamento experimental 1.

Pode-se observar na Figura 6 a análise das interações, verificando que na interação vidro/óleo existe uma grande influência negativa, pois devido o aumento dos componentes, diminui-se a resistência à compressão.

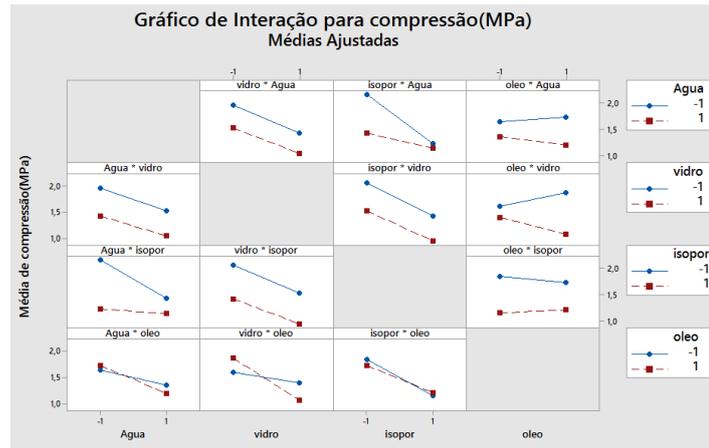


Figura 6 – Gráfico de interação para resistência a compressão delineamento experimental 1.

Com base nos resultados apresentados nos gráficos foi retirado do planejamento experimental o fator vidro, pois ele estava influenciando negativamente nas interações com outros fatores. Dessa forma foi realizado um novo fatorial apenas com (água, isopor e óleo) como fatores de entrada. Os dados a partir de agora são resultados deste fatorial.

Densidade: fatorial completo de 2<sup>3</sup>

Ao observar o gráfico de pareto na (Figura 7), nota-se que o fator água e isopor influenciam diretamente na resposta densidade.

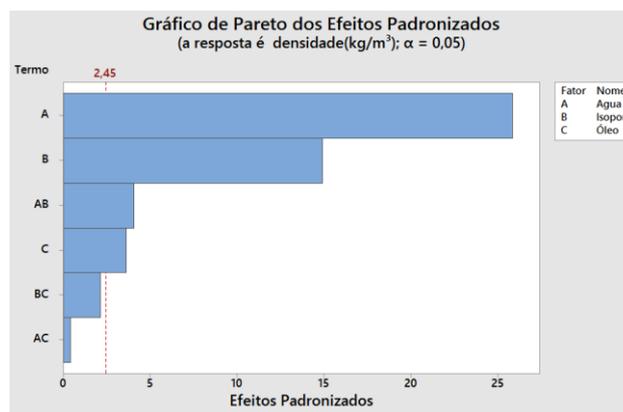


Figura 7 - Gráfico de Pareto da resposta densidade delineamento experimental 2.

Para análise do comportamento da densidade sobre influencia de cada fatores individualmente. Tem-se uma melhor resposta com a utilização da água e isopor em maiores quanto maior quantidade de ambos menores a densidade, já para o óleo só pode-se afirmar que ele tem uma leve tendência de aumentar a densidade quando aumenta sua quantidade.

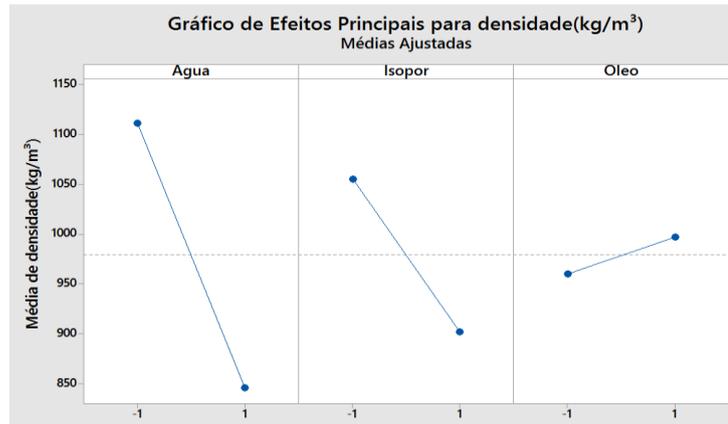


Figura 8 - Gráfico de efeitos análise individual para densidade delineamento experimental 2.

Absorção: fatorial completo de 2<sup>3</sup>.

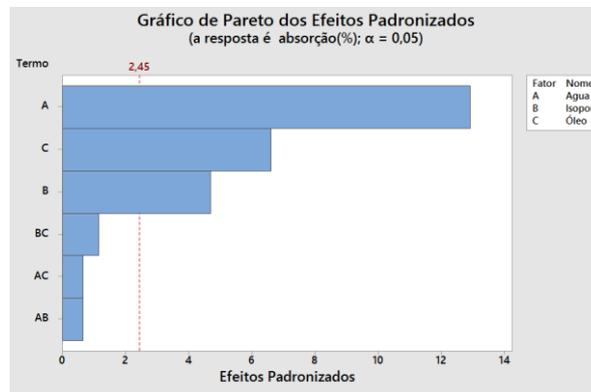


Figura 9 – Gráfico de pareto para absorção delineamento experimental 2.

Na Figura 10 observa-se que para a água e isopor, quanto maior a quantidade maior a absorção, já o óleo têm interferência oposta, quanto maior quantidade menor sua absorção.

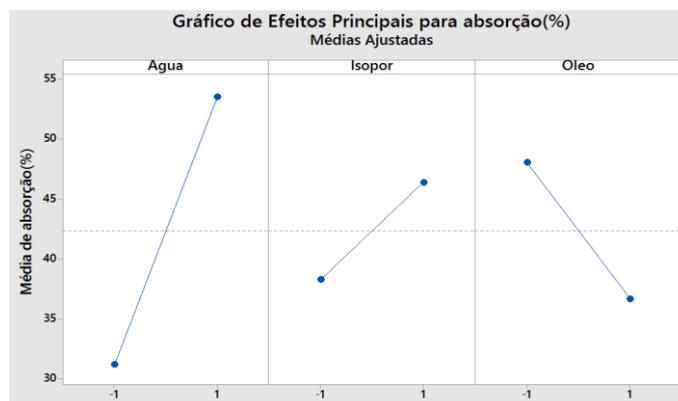


Figura 10 - Gráfico de efeitos análise individual para absorção delineamento experimental 2.

Compressão: fatorial completo de 2<sup>3</sup>.

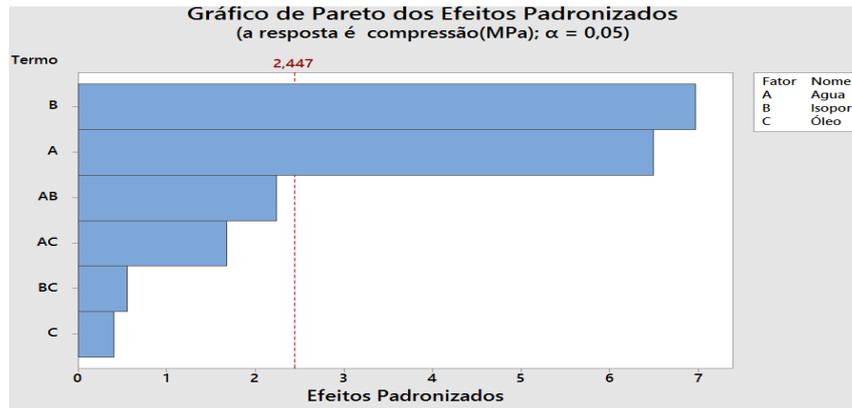


Figura 16 – Gráfico de pareto para compressão delineamento experimental 2.

Segundo o gráfico de pareto (Figura 16) verifica-se influência somente do isopor e da água na resistência a compressão.

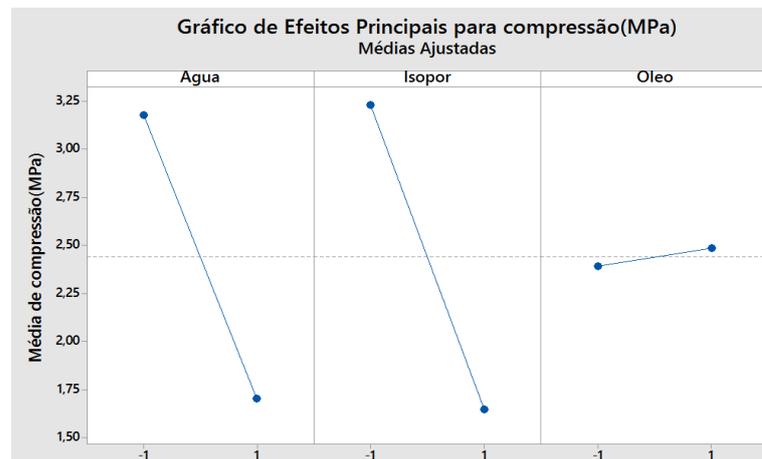


Figura 17 - Gráfico de efeitos análise individual para compressão delineamento experimental 2.

No gráfico individual de efeitos (Figura 18) observa-se que os fatores, água e isopor, se comportam de forma que quanto menor a quantidade maior a resistência a compressão, já o óleo não influencia tanto quanto os outros.

## CONCLUSÕES

Avaliando o projeto experimental, todos os resultados obtidos mostraram nível de confiabilidade acima da margem mínima permitida para análise estatística que é de 95%, as margens obtidas foram de 97% de 98% para o primeiro e segundo fatorial respectivamente. Foi possível determinar a influência de cada fator de entrada individualmente e das suas interações nas variáveis de saída. O fator vidro foi removido do experimento devido a sua influência negativa de forma individual na resposta densidade, e pelo seu problema de interação com a variável de entrada óleo prejudicando sua aderência a matriz, ocasionando na fragilidade dos blocos.

Com base nas respostas estatísticas foi determinado que a melhor formulação para preparação das divisórias ou blocos estruturais deve conter a combinação de maior percentual de óleo com menor percentual de isopor e água baseado na tabela de composição do segundo fatorial, atendendo aos requisitos de projeto.

## AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, aos professores que ajudaram no nosso trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1]EIRES, R. *et al.* **Novos Materiais de Construção à Base de Gesso e Desperdícios Industriais. Congresso Construção**, Coimbra, Portugal, Dez. 2007. Disponível no link: <<http://hdl.handle.net/1822/7556>> acessado em 23 de setembro de 2016.
- [2]SILVA, Martin Fraga. **Emprego de Gesso na Construção Civil: A sistematização do Resíduo da Pasta de Gesso, Gesso Acartonado e Placas de Gesso**. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível no link: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/78222>> acessado em 21 de setembro de 2016.
- [3]LIMA, Semiramis Y. V; **Propriedades físicas e mecânicas de compósitos à base de gesso contendo fibras e resíduos**. Mossoró, 2011. Disponível no Link: <<http://ebiblio.ufersa.edu.br/Download/20652.pdf>> acessado em 01 de setembro de 2016.
- [4]LEITE, Mônica Batista; **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível no link: [http://www.lume.ufrgs.br/bitstream\\_id/45864/000292768.pdf](http://www.lume.ufrgs.br/bitstream_id/45864/000292768.pdf) acessado em 15 de outubro de 2014
- [5] MONTGOMERY, Douglas C.(Arizona State University). **Design and Analysis of Experiments**. 8. ed : John Wiley& Sons, Inc., 2012. 757 p.
- [6]HASELEIN, Clovis Roberto *et al.* **Fabricação de Chapas de Partículas Aglomeradas Usando Gesso Como Material Cimentante**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 81-88. 2002. Disponível no link: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1703>> acessado em 26 de novembro de 2014.
- [7]ABNT, Associação brasileira de normas técnicas. **Gesso para construção civil: Determinação das propriedades mecânicas NBR12129**. Rio de Janeiro 1991.

[8]ABNT, Associação brasileira de normas técnicas. **Gesso para construção civil: Determinação da absorção de água. NBR 15310**. Rio de Janeiro 1991.

[9] Sobrinho, A.C.L. et al. **Gipsita**. Disponível no link:  
<[www.dnpm.gov.br/assets/gAaleriadocumento/balancomineral12001/gpsita.pdf](http://www.dnpm.gov.br/assets/gAaleriadocumento/balancomineral12001/gpsita.pdf)>  
acessado em 26 de novembro de 2014.

TÍTULO EM INGLÊS

EXPERIMENTAL USE PLANNING FOR PRODUCTION OF BLOCKS THE GYPSUM: INTERDISCIPLINARY PROJECT MATERIALS ENGINEERING COURSE IN FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC

ABSTRACT

The search for materials for construction coming from waste from other processes has been studied with great intensity due to environmental issues. In this context, it was proposed to students of Technology Faculty of Materials Engineering Senai Cimatec, obtaining a composite material applicable in construction, and can be partitions or precast walls. This project is part of the training of engineering courses of this Faculty and aims to correlate skills developed in quality management disciplines, materials sciences and planning and analyze statistical experiments. Thus, this paper presents the results obtained by a group of students who used the cast as the main raw material to obtain blocks with lower density and greater resistance to moisture absorption. In the development were also used alternative materials such as glass, polystyrene and cooking oil to compose formulations defined with the aid of DOE (Design of Experiment). The blocks were characterized by compressive strength test of water absorption capacity and density. With the results of the response variables little influence glass to have three improvements, other factors have been defined, and they percentage of water, oil and polystyrene, thereby achieving to reduce the density, increase the resistance to compression and allow material more hydrophobic.

Key-words: Plaster; mechanical properties; experimental design.