

### III-230 - APROVEITAMENTO DE CO-PRODUTOS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL CERÂMICO

**Camila Stockey Erhardt<sup>(1)</sup>**

Bolsista de Iniciação Científica - Estudante de Engenharia Civil pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

**Adriane de Assis Lawisch Rodríguez**

Doutora em Engenharia/TU-Berlin-Alemanha, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Escola de Engenharia da UFRGS; Engenheira Química pela Escola de Engenharia da PUCRS. Professora do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

**Ana Júlia Wagner**

Estudante de Engenharia Civil pela Universidade de Santa Cruz do Sul

**Tiago Bender Wermuth**

Engenharia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul. Mestrando na Escola de Engenharia de Porto Alegre.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Andrade Neves, 346 - Universitário – Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96815-720 - Brasil - Tel: (51) 37171161 - e-mail: camilaerhardt@mx2.unisc.br

#### RESUMO

A conciliação de materiais cerâmicos e insumos de outros setores para o processamento de produtos com melhores propriedades tecnológicas mobiliza gradativamente o setor da pesquisa, principalmente na área de materiais de construção. Para suprir a demanda de materiais cerâmicos com maior potencial, o trabalho tem como objetivo o processamento e avaliação de uma matriz cerâmica com adição de resíduo de origem vegetal proveniente da produção do biodiesel. O resíduo de mamona, glicerol e a argila vermelha, foram as matérias primas constituintes deste material cerâmico para a fabricação de corpos de prova. A argila passa pelo processo desumidificação, destorroamento e peneiramento, em agitador mecânico. Já a mamona passa pelo processo de secagem natural e mecânica, redução em moinho de facas e peneiramento. A granulometria utilizada para a argila e para o girassol foi de 180 µm. Dosadas e fabricadas as amostras de corpos de prova matriz (contendo somente argila); corpos de prova com 5% e 10% em massa de resíduo de mamona e corpos de prova com 3% em massa de glicerol. Houve a queima destas amostras com diferentes temperaturas, 900°C e 1100°C, para demonstrar a influência da temperatura de queima no material final. Para a análise deste novo material cerâmico foram realizados ensaios de verificação de suas propriedades mecânicas, como retração linear, absorção de água, porosidade e resistência à flexão de 4 pontos. A retração linear foi realizada conforme a ASTM C 210/95, feita pela medição dos comprimentos dos corpos de prova depois da secagem e queima. Já a absorção de água e porosidade aparente foram realizadas conforme a ASTM C 373/94. O ensaio de resistência à flexão de 4 pontos seguiu a ASTM C 773/88. Cada amostra corresponde à média, dentro do desvio padrão, realizada com os cinco corpos de prova de cada dosagem e temperatura de queima. O ensaio de resistência à flexão de 4 pontos comprovou a potencialidade dos materiais com a incorporação de insumos do biodiesel, no qual o aumento do teor de resíduos está relacionado ao aumento da resistividade, assim como o aumento de sua temperatura de queima. Quanto à retração, os corpos de prova apresentaram valores entre 2 e 4% de retração linear, tanto os com temperatura de queima 900°C quanto os com 1100°C. Já na absorção de água todas as amostras ficaram dentro dos parâmetros para materiais cerâmicos que é abaixo de 18%, e atingiram a resistência necessária por norma, comprovando sua futura utilização como telhas e blocos cerâmicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cerâmica, biodiesel, mamona, glicerol.

#### INTRODUÇÃO

A ecologia industrial oferece o conceito da circulação de matéria-prima entre unidades produtivas, na qual o que é considerado resíduo em um sistema industrial é usado em outro sistema como insumo (TEIXEIRA, 2005). Isto ocorre na produção do biodiesel, em que são gerados resíduos e co-produtos que devem ser aproveitados, de forma que toda a cadeia de produção do biodiesel seja sustentável e economicamente viável (MOTTA, 2011).

Concomitante ao aumento da produção de biodiesel, há a geração de co-produtos e resíduos que gradativamente impulsionam pesquisas sobre a reutilização e deposição destes materiais. Um dos setores que efetivamente desenvolve pesquisas com agregação de resíduos é o setor cerâmico, onde o material pode ser utilizado como carga sem um prévio tratamento.

Por tratar-se de material de origem vegetal, os co-produtos do biodiesel geralmente são sinterizados para o reuso, o que adiciona uma nova etapa no processo produtivo. Já agregado como carga dentro de material cerâmico, além de não provocar a corrosão como na agregação de argamassa, ele ainda pode potencializar a resistência, e outros parâmetros como a absorção de água, porosidade e retração.

Assim, o setor cerâmico contribui para um menor impacto ambiental, reutilizando e introduzindo esses co-produtos em um novo processo. Com a valorização do produto final com diferentes propriedades características, o setor cerâmico ganha quanto ao custo do processo.

O presente trabalho apresenta o processo e obtenção de corpos de prova cerâmicos em escala laboratorial, realizado na Universidade de Santa Cruz do Sul, com reuso de co-produtos do biodiesel, como as partes aéreas da mamona (caule e folhas) e glicerol. O trabalho é vinculado ao projeto relacionado ao desenvolvimento de novos materiais com co-produtos do biodiesel.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A argila vermelha, fornecida por uma empresa cerâmica da região do município de Candelária, Rio Grande do Sul, foi extraída de jazidas licenciadas, e transportada para a empresa na qual permanece na área de sazonalamento, de onde foi retirada a amostra utilizada. Devido ao tempo em que permanece na área de sazonalamento da empresa, a argila chega ao laboratório com características tecnológicas superiores após o tempo de exposição as intempéries na empresa. Esta amostra foi seca em ambiente aberto, no qual permaneceu por 5 horas para a remoção do excesso de umidade, após foi colocada na estufa por 24 horas para a total desumidificação.

O destorreamento da argila foi de forma manual, já a moagem foi realizada em dois equipamentos: moinho de bolas e moinho planetário. No moinho de bolas a argila permanecia por 4 horas. Entretanto o material ainda permanecia com uma granulometria grosseira. Após este processo, foi utilizado o moinho planetário, no qual foi obtida a granulometria desejada e com maior rapidez. O peneiramento foi realizado com o jogo de peneiras, tanto manual quanto com agitador mecânico. A granulometria utilizada para a argila foi de 180 µm.

O resíduo de mamona composto por folhas, raiz e caule, proveniente da Cooperativa Mista dos Fumicultores do Brasil (Coperfumos), passou pelo processo de secagem em estufa por 8 horas, para sua desumidificação e a moagem ocorreu em moinho de facas. Já o glicerol proveniente do projeto vinculado ao desenvolvimento de novos materiais dentro da Universidade de Santa Cruz do Sul, e não foi necessário a realização de outros processos.

O restante do trabalho foi realizado nas seguintes etapas: dosagem, homogeneização, prensagem, queima e ensaios, conforme o fluxograma da Figura 1.

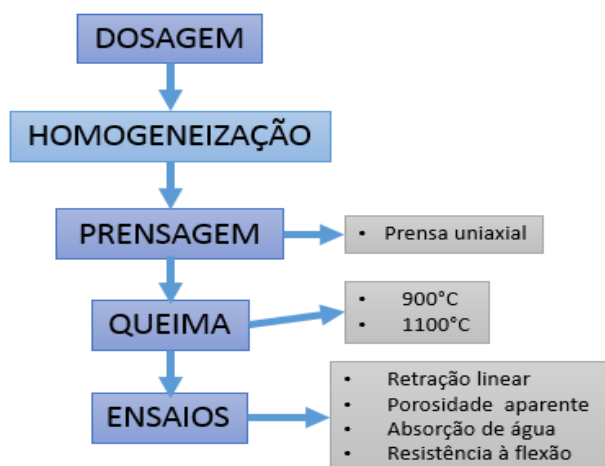


Figura 1: Fluxograma do processo.

## DOSAGEM E PROCESSAMENTO

Formuladas as misturas para a fabricação dos corpos de prova, cada uma com sua massa cerâmica de referência, de teor e temperatura de queima (conforme a Tabela 1 com as dosagens de amostra): AT1 e AT2 contendo somente argila vermelha; AM5T1 e AM10T2 com teores diferentes de mamona; e AG3T1 e AG3T2 com teores diferentes de glicerol. Amostras com temperaturas diferentes foram realizadas, para demonstrar a influência da temperatura de queima no material final.

Tabela 1: Dosagens das amostras.

AMOSTRA	ARGILA (% em massa)	MAMONA (% em massa)	GLICEROL (% em massa)	TEMPERATURA DE QUEIMA
AT1	100	0	0	900°C
AM5T1	90	5	0	900°C
AG3T1	97	0	3	900°C
AT2	100	0	0	1100°C
AM10T2	90	10	0	1100°C
AG3T2	97	0	3	1100°C

Para a obtenção da consistência desejada, a massa de argila foi umedecida, os grumos que apareciam na mistura desmanchados, e a uma massa homogênea passou pela peneira de 850 µm (#20). Somente o material que passou pela peneira foi utilizado na prensagem dos corpos de prova, esta realizada em uma prensa hidráulica com um molde de metal não corrosível com carga de 4 MPa. Os corpos de prova, tem por dimensões: 60mm de comprimento, 5mm de altura e 20mm de largura.

Já na conformação dos corpos de prova com adição de mamona (AM5T1 e AM10T1), a massa já dosada passou no moinho planetário para que a mistura ficasse homogênea. Os corpos de prova das amostras AG3T1 e AG3T2 com glicerol passaram pelo mesmo processo, homogeneizando o glicerol e a argila por meio de uma seringa antes de umedecer a mistura.

Os corpos de prova levados à estufa, onde permaneciam por 24 horas a uma temperatura de 110°C e após era realizada a queima em forno. A queima foi realizada com as temperaturas de 900°C e 1100°C, com taxa de aquecimento 150°C/min e patamar de queima de 8 horas.

## ENSAIOS

A retração linear foi realizada conforme a ASTM C 210/95, que é feita pela medição dos comprimentos dos corpos de prova depois da secagem e queima, pela equação abaixo.

$$RL = [(Li - Lf) / Li] \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

RL = Retração linear de queima, em %

Li = comprimento após a secagem, em mm.

Lf = comprimento após a queima, em mm.

Já a absorção de água é realizada conforme a ASTM C 373/94, onde se verifica: o peso do corpo de prova seco (Ps); o peso do corpo de prova úmido (Pu) que fica durante 24 horas dentro da água e o peso do corpo de prova imerso (Pi), com ajuda de um suporte dimensionado no laboratório. A fórmula para se chegar a porcentagem de absorção de água de cada corpo de prova se encontra abaixo.

$$AA = [(Pu - Ps) / Os] \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

AA = Absorção de água, em %

Pu = massa da amostra seca, em gramas.

Ps = massa da amostra úmida, em gramas.

A porosidade aparente (Pap) também é verificada com os pesos citados anteriormente, mas utiliza-se a fórmula abaixo.

$$Pap = [(Pu - Ps) / (Pu - Pi)] \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

Pap = Porosidade aparente, em %

Pu = massa da amostra seca, em gramas.

Ps = massa da amostra úmida, em gramas.

Pi = Peso do material imerso, em gramas.

O ensaio de resistência à flexão de 4 pontos foi realizado no laboratório da UFRGS/Lacer seguindo a ASTM C 773/88, chegando-se à tensão máxima de ruptura pela fórmula abaixo.

$$\sigma = \frac{3}{2} \times \frac{P(L-l)}{b \times d^2} \times 100 \quad \text{equação (4)}$$

$\sigma$  = tensão máxima de ruptura (MPa);

P = carga máxima aplicada (N);

b = base do corpo de prova (mm);

d = altura do corpo de prova (mm);

l = distância dos apoios superiores (mm);

L = distância dos apoios inferiores (mm);

## RESULTADOS

Na Tabela 2 abaixo, encontram-se os valores médios, dentro do desvio padrão, de cada amostra para os ensaios de retração linear, absorção de água, porosidade aparente e resistência. Cada amostra corresponde à média realizada com os cinco corpos de prova de cada dosagem e temperatura de queima como demonstrado anteriormente.

**Tabela 2: Resultados obtidos nos ensaios.**

AMOSTRA	RETRAÇÃO LINEAR (%)	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	RESISTÊNCIA (MPa)
AT1	2,69	11,69	20,86	9,96
AM5T1	3,60	14,66	22,57	11,54
AG3T1	2,42	20,23	31,94	2,04
AT2	3,65	11,67	20,74	16,78
AM10T2	5,55	15,98	26,15	11,03
AG3T2	4,02	16,77	28,94	9,02

Na discussão dos resultados foram utilizados os valores permitidos por norma para cada tipo de material cerâmico. Sabendo que as principais propriedades para materiais conforme a Tabela 3 são: a absorção de água e resistência mecânica.

**Tabela 3: Parâmetros por norma.**

MATERIAIS CERÂMICOS	ABSORÇÃO DE ÁGUA	RESISTÊNCIA MECÂNICA
Telhas	$\geq 18\%$	6,8 MPa a 9,8 MPa
Blocos cerâmicos	Entre 8% e 18%	$\geq 1$ MPa
Placas cerâmicas de revestimento	Entre 0,5% e 10%	Entre 15 MPa e 35 MPa

Conforme os resultados, somente a amostra AG3T1 poderia ser utilizada como telha por possuir absorção de água maior que 18%, o que representa o potencial da agregação de glicerol na geração de poros. Contudo com o aumento da temperatura de queima a amostra AG3T2, que também possui agregação de glicerol, diminui sua absorção de água, e assim, sua porosidade.

É importante salientar que as telhas e as placas cerâmicas industriais recebem impermeabilização antes de realizados os ensaios, ajudando no seu potencial. Já os corpos de provas das amostras não passam por este processo de impermeabilização, pois o intuito é testar a dosagem e o material processado.

Todas as outras amostras se enquadram quanto ao parâmetro de absorção de água e resistência para blocos cerâmicos. As amostras AT1 e AG3T2, são as únicas dentro do parâmetro resistência, para telhas com resistência menor que 9,8 MPa e maiores que 6,8 MPa. Já a amostra AT2, corpos de prova de matriz, é a única que atinge a resistência mínima para placas cerâmicas de revestimento, e que possui maior resistência, com 16,78 MPa, comprovando a qualidade da argila utilizada para os corpos de prova. Pode-se observar também que o aumento da temperatura de queima faz com que a resistência aumente.

Sabe-se que a porosidade está relacionada a resistência e a absorção, quanto mais poros o corpo de prova conter, maior a absorção, e menor a resistência. Em comparação das amostras correspondentes a matriz com as amostras com 3% de teor de massa de mamona no corpo de prova cerâmico, chegou-se aos gráficos de porosidade aparente (Figura 3), absorção de água (Figura 4) e retração linear (Figura 5).

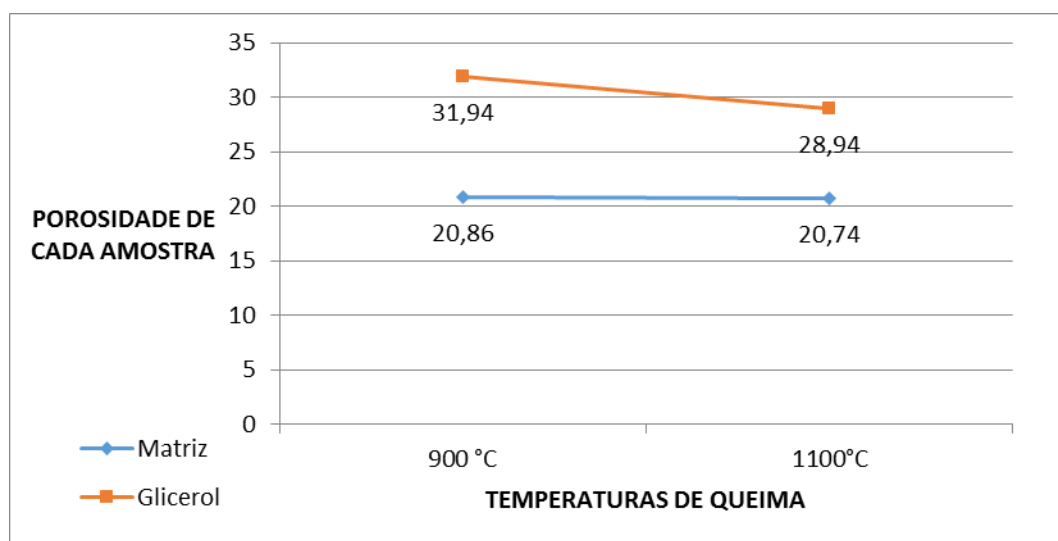


Figura 3: Gráfico de Porosidade aparente.

Verificou-se que os corpos de prova com matriz cerâmica, AT1 e AT2, mesmo com o aumento da temperatura de queima, obtiveram uma porosidade aparente constante. Já os corpos de prova com agregação em massa de glicerol, AG3T1 e AG3T2, apresentaram a diminuição de sua porosidade aparente como indica a reta decrescente do gráfico. O mesmo ocorre com a absorção de água, já que porosidade aparente está diretamente ligada a absorção de água.

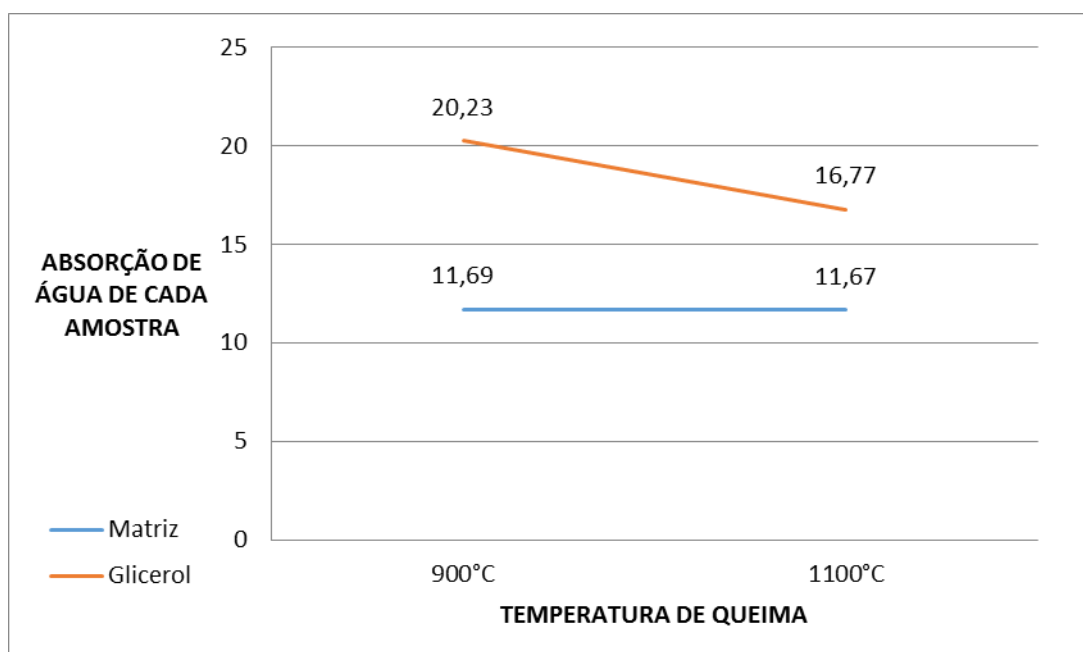


Figura 4: Gráfico de absorção de água.

A Retração Linear como mostra a Figura 5 aumentou tanto para as amostras de matriz como para as amostras com agregação de glicerol, conforme o aumento da temperatura de queima. Assim, a agregação de glicerol ao material cerâmico aumenta sua absorção de água, porosidade aparente e resistência a flexão. Porém somente a resistência é potencializada com o aumento da temperatura.

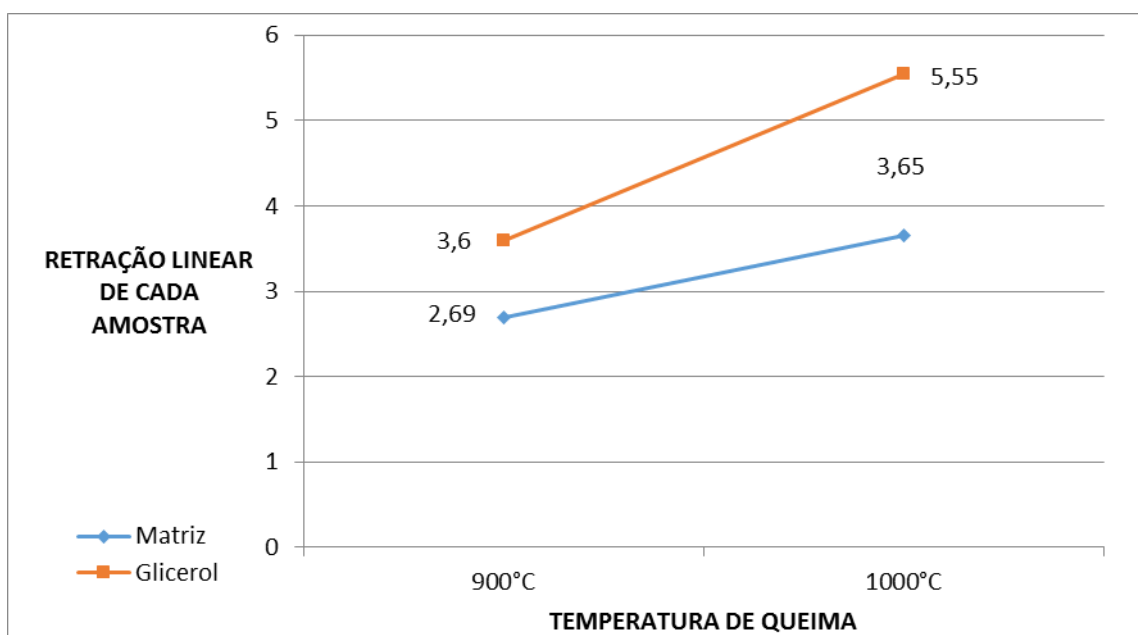


Figura 5: Gráfico de retração linear.

Para a comparação dos corpos de prova de mamona com a matriz cerâmica, fez-se necessária a demonstração de resultados como mostra a Figura 6 e Figura 7, já que as duas amostras contêm teores diferentes de massa de mamona e temperatura de queima. A amostra AM5T1 tem 5% de teor de massa de mamona com temperatura de queima de 900°C, já a amostra AM10T2 tem 10% de teor de massa de mamona com temperatura de queima de 1100°C.

Na Figura 6 (gráfico), pode se observar a comparação entre as amostras AT1 e AM5T1, em que os corpos de prova com agregação de 5% em massa de mamona obtiveram resultados semelhantes aos corpos de prova de matriz, com resultados maiores em relação a retração linear, absorção de água, porosidade aparente e resistência. Mesmo com o aumento da absorção de água e a porosidade, os corpos de prova com mamona aumentaram sua resistência em 2 MPa.

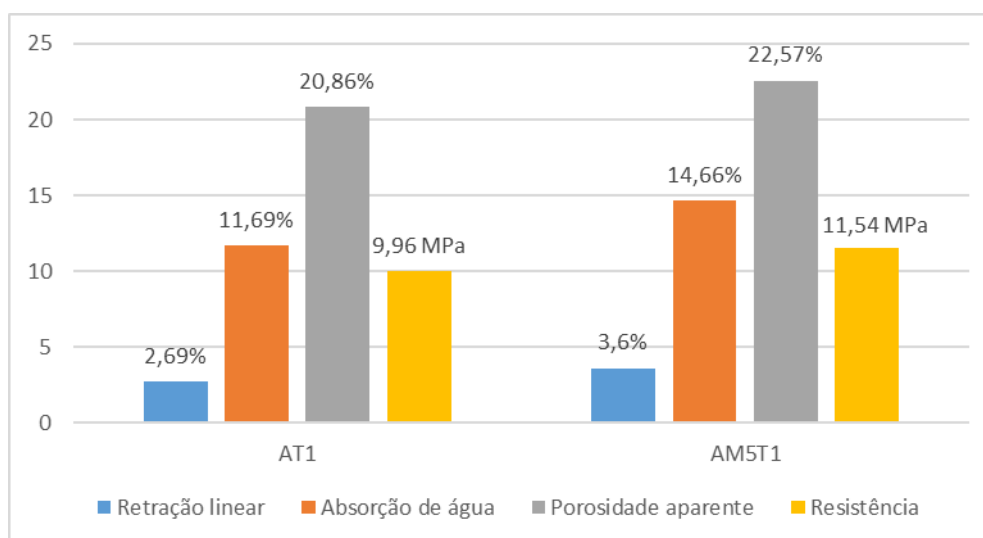


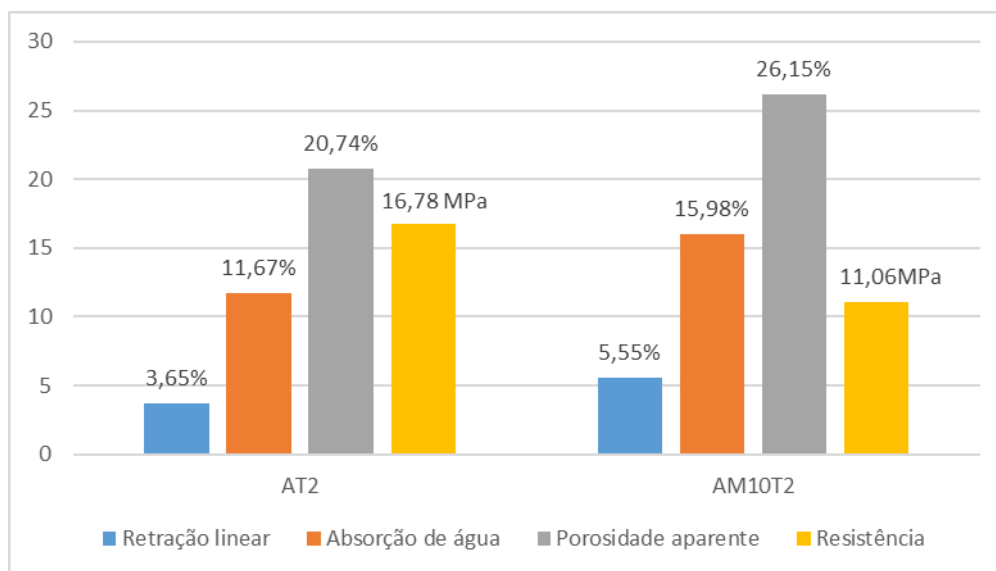
Figura 6: Resultados obtidos com as amostras AT1 e AM5T1.

Já na Figura 7, é demonstrada a comparação das amostras AT2 e AM10T2 queimadas a temperatura de 1100°C. Onde novamente ocorre o aumento dos resultados de retração, absorção e porosidade, com a agregação de 10% em massa de mamona (AM10T2), contudo a adição de maior teor de resíduo ao material cerâmico influenciou na diminuição de sua resistência de 16,78 MPa para 11,06MPa.



É possível observar que em quase todas as amostras o mesmo acontece, pois a agregação de resíduo a matriz cerâmica gera poros, contudo, melhora a resistência do material, conforme sua temperatura de queima.

Os materiais constituídos de matriz cerâmica, tanto com agregação de mamona como com agregação de glicerol, obtiveram resultados dentro dos parâmetros requeridos, viabilizando a estes a utilização como material para a construção civil.



**Figura 7: Resultados obtidos com as amostras AT2 e AM10T2.**

## CONCLUSÕES

Os materiais constituídos de matriz cerâmica, tanto com agregação de mamona como com agregação de glicerol, obtiveram resultados dentro dos parâmetros requeridos, podendo ser utilizado como material para a construção civil. Conclui-se que a agregação de resíduo a matriz cerâmica gera poros, mas de igual forma aumentam a resistência do material.

A qualidade da argila utilizada para os corpos de prova é comprovada pelas altas resistências encontradas. Pode-se observar também que o aumento da temperatura de queima faz com que a resistência e a retração linear aumentem.

Quanto à absorção de água é visto que as amostras podem ser utilizadas para telhas e blocos cerâmicos, obtendo-se uma porcentagem maior do que a constada na norma para placas de revestimento cerâmico. Porém, é importante salientar que as telhas e as placas cerâmicas industriais recebem impermeabilização antes de realizados os ensaios, ajudando no seu potencial. Já os corpos de provas das amostras não passam por este processo de impermeabilização, pois o intuito é testar a dosagem e o material processado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) ASTM C- 210/95 - Test method for reheat change of insulating firebrick.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) ASTM C- 373/94-88 - Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity, and apparent specific gravity of fired whiteware products.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) ASTM C - 133/97 -American society for testing and materials: Test method for cold crushing strength and modulus of rupture of refractories.
4. MOTTA, C. J. A.; PESTANA, C. F. M. Co-produtos na produção de biodiesel. Revista Virtual de Química, 2011, v. 3, (n. 5), p. 416-425, 2011.



5. TEIXEIRA, M. G. Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o resíduo de madeira. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento de Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2005.
6. TELOEKEN, Ana Caroline. Utilização de lodo galvânico como matéria prima em cerâmica vermelha: obtenção, caracterização de propriedades tecnológicas e aspectos ambientais. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de Porto Alegre. Porto Alegre, 2010.