

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LUCAS ALEXANDRE RUTHS**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CARVÃO ATIVADO EM  
ARGILAS DE UMA OLARIA DE PRUDENTÓPOLIS-PR.**

**GUARAPUAVA**

**2021**

**LUCAS ALEXANDRE RUTHS**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CARVÃO ATIVADO EM  
ARGILAS DE UMA OLARIA DE PRUDENTÓPOLIS-PR.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Msc. Marcela Maier Farias Czap  
Coorientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Ricardo Yoshimitsu Miyahara.

**GUARAPUAVA**

**2021**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LUCAS ALEXANDRE RUTHS**

**ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CARVÃO ATIVADO EM  
ARGILAS DE UMA OLARIA DE PRUDENTÓPOLIS-PR.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Civil, da  
Coordenação de Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02 de dezembro de 2021

---

Ricardo Yoshimitsu Miyahara  
Doutor  
Universidade Estadual do Centro-Oeste, Paraná

---

Marcela Maier Farias Czap  
Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Joice Cristini Kuritza  
Doutora  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**GUARAPUAVA**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a União pela faculdade. Agradeço aos meus mestres pelos ensinamentos. Agradeço a minha família por todo o apoio e paciência nesses longos anos de caminhada acadêmica. Agradeço a minha namorada Skalart por estar do meu lado nos momentos difíceis da graduação, dando os devidos puxões de orelha, e por estar comigo nas minhas conquistas pessoais. Agradeço a todos os meus amigos pelo apoio nesta trajetória marcante e intensa que foi a graduação. Agradeço à minha Orientadora Marcela e ao meu Coorientador Ricardo por todo o apoio e amparo necessário que tive neste projeto.

## RESUMO

RUTHS, Lucas Alexandre. **Estudo do impacto ambiental e financeiro da implementação de argila dopada com resíduo de carvão ativado numa olaria de Prudentópolis - Pr.** 2021. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, ano de 2021.

Cerâmicas vermelhas são argilas, que após sinterização, e devido ao alto teor de materiais ferrosos, possuem coloração avermelhada. Na indústria brasileira ela é amplamente utilizada, como no uso de telhas, blocos cerâmicos e peças cerâmicas. Já o carvão ativado é um material amplamente utilizado na indústria para o tratamento e filtração de gases e líquidos. Essa utilização acaba gerando resíduos, os quais causam elevados custos para destinação correta. Logo, como as argilas são materiais não renováveis, estudou-se a influência do acréscimo de carvão ativado na massa de cerâmica vermelha, estudando as propriedades físicas tais como: porosidade aparente, absorção de água, tensão de ruptura à compressão, tensão de ruptura à flexão, porcentagem de água para boa plasticidade e densidade aparente. Observou-se que as porcentagens com 5%, 10% e 15% de acréscimo em sua massa total obtiveram resultados interessantes dobrando a resistência do material estudado. Verificou-se, a partir dos dados experimentais, o impacto ambiental e financeiro da implementação da argila dopada com 10% de resíduo carvão ativado na fabricação de materiais cerâmicos em uma olaria localizada na região de Prudentópolis, Paraná.

**Palavras-chave:** Argila. Resíduo. Carvão Ativado. Cerâmica Vermelha. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

RUTHS, Lucas Alexandre. **Study of the environmental and financial impact of the implementation of clay doped with activated carbon residue in a pottery in Prudentópolis - Pr.** 2021. 45 f. Total number of sheets). Course Conclusion Work (Bachelor's Degree in Civil Engineering - Federal Technological University of Paraná. Guarapuava, year 2021.

Red ceramics are clays, which after sintering, and due to the high content of ferrous materials, have a reddish color. In Brazilian industry it is widely used, as in the use of tiles, ceramic blocks and ceramic pieces. Activated carbon, on the other hand, is a material widely used in industry for the treatment and filtration of gases and liquids. This use ends up generating waste, which causes high costs for correct disposal. Therefore, as clays are non-renewable materials, the influence of the addition of activated carbon in the red ceramic mass was studied, studying the physical properties (also known in industries, as ceramic properties) such as: apparent porosity, water absorption, compressive rupture strength, flexural rupture strength (3 points), water percentage for good plasticity and bulk density. It was observed that the percentages with 5%, 10% and 15% increase in its total mass obtained significant results, increasing the strength of the material studied. Based on the experimental data, the environmental and financial impact of the implementation of clay doped with 10% activated carbon residue in the manufacture of ceramic materials in a pottery located in the region of Prudentópolis, Paraná, was verified.

**Keywords:** Clay. Residue. Activated charcoal. Red Ceramics. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Porosidade Aparente, Absorção de Água e Água para Boa Plasticidade das Amostra.....	30
Figura 2 - Densidade Aparente.....	31
Figura 3 - Tensão máxima de cisalhamento por compressão.....	32
Figura 4 - Tensão máxima de cisalhamento por flexão.....	33
Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura amostra <i>in natura</i> .....	34
Figura 6 - Microscopia eletrônica de varredura 5% de resíduo.....	35
Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura 10% de resíduo.....	35
Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura 15% de resíduo.....	36
Figura 9 - Difração de Raio X.....	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

DRX Difração de Raio-x

MEV Microscopia Eletrônica de Varredura

SINAP - Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices

ASTM American Society for Testing and Materials

AA Água para boa plasticidade

DA Densidade Aparente



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{m}$  Micrômetro

mm Milímetro

kg Kilograma

kV Quilovolts

Pa Pascal

$\text{g}/\text{cm}^3$  Grama por centímetro cúbico

$\theta$  Ângulo Teta

h Horas

$^{\circ}\text{C}/\text{min}$  Graus Celsius por minuto

$\text{m}^2/\text{g}$  Metro quadrado por grama

$\text{ZnCl}_2$  Cloreto de Zinco

$\text{H}_3\text{PO}_4$  Ácido Fosfórico

$\text{H}_2\text{SO}_4$  Ácido Sulfúrico

$\text{CO}_2$  Dióxido de Carbono

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Delimitação do Tema</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Problema de Pesquisa</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos</b>	<b>15</b>
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivo Específico	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Carvões Ativados</b>	<b>16</b>
2.1.1 Produção do Carvão Ativado	16
2.1.2 Processo de Ativação	17
2.1.3 Adsorção	18
<b>2.2 Argila</b>	<b>19</b>
2.2.1 Considerações acerca da Argila	19
2.2.2 Propriedades da Argila.	20
2.3.3 Cerâmica Vermelha	22
<b>2.3 Considerações Acerca de Olarias do Município de Prudentópolis</b>	<b>24</b>
2.3.1 Município de Prudentópolis	25
2.3.2 Olarias de Prudentópolis	25
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Delineamento da Pesquisa</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Procedimento da coleta de dados</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Procedimento da Análise de Dados</b>	<b>28</b>
3.3.1 Produção dos Corpos de Prova	28
3.3.2 Questionário	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Análises Físicas</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Análises Mecânicas</b>	<b>33</b>
<b>4.3 Análises Químicas</b>	<b>35</b>
<b>4.4 Questionário</b>	<b>39</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>44</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Para um ceramista, o termo argila corresponde a um material que quando misturado com água se converte em uma massa plástica. Já para um sedimentologista representa um termo granulométrico no qual engloba todos os sedimentos com partículas de diâmetros esféricos equivalente inferior a 2 micron; para um petrologista é uma rocha; para um mineralogista é um mineral ou mistura de minerais argilosos que apresentam estrutura essencialmente filitosa e granulometria muito fina; por fim, para um leigo, argila é barro ou material natural que, quando úmido, é escorregadio (MEIRA, 2001).

Contudo, como termo de aceite mais geral, segundo Meira (2001), argila é considerada um material natural, terroso, constituído de componentes de grão muito fino, entre os quais se destacam os materiais argilosos. Quando úmidos adquirem uma determinada plasticidade que endurece depois de seco e ainda mais depois do tratamento térmico.

A cerâmica vermelha engloba diversos materiais que são frequentemente utilizados na construção civil, como blocos, telhas, tijolos maciços, tubos para saneamento, elementos de enchimentos (laje), *green wall*, elementos vazados e também argila expandida (SEBRAE, 2015). Ainda, a nomenclatura vermelha é devido à presença de compostos ferrosos que desenvolvem coloração avermelhada.

Já o carvão ativado, segundo Freitas (2014), “é um material de carbono com uma porosidade bastante desenvolvida com capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos ou impurezas no interior de seus poros apresentando, portanto, um grande poder de clarificação, desodorização e purificação de líquidos e gases.”

O carvão ativado pode ser obtido de várias matérias, mas basicamente ele é feito com a queima controlada com baixo teor de oxigênio de certas madeiras, numa temperatura entre 800°C e 1000°C, com precauções para que não ocorra a queima total do material e com a intenção de manter a sua porosidade (FREITAS, 2014).

O uso mais comum para o carvão ativado é a elaboração de filtros para a adsorção de gases e no tratamento de água (FREITAS, 2014).

O carvão ativado pode causar danos ao meio ambiente. Empresas que

possuem resíduos desse material precisam tratar esses resíduos e dar um destino correto ao mesmo ao invés de descartá-lo diretamente no meio ambiente, o que gera gastos e uma grande demanda de mão de obra.

O meio socioambiental que caracteriza a sociedade contemporânea revela que o impacto do ser humano no meio ambiente está cada vez maior e mais complexo, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. O termo desenvolvimento sustentável vem com o intuito de enfrentar a crise ecológica que temos enfrentado (JACOBI, s.a).

Diversos resíduos são gerados em produções dos mais variados produtos. A indústria de carvão ativado, por exemplo, gera resíduos sólidos na produção do material, que podem ser reutilizados.

O carvão ativado pode ser produzido a partir de vários materiais orgânicos como a madeira, resíduo do beneficiamento do café (BRUM et.al., 2008). Ele pode ser utilizado, por exemplo, no tratamento de águas cinzas (LIMA, 2016).

Fernandes (2010) afirma que são produzidas 400.000 toneladas de carvão ao redor do mundo. Tal produção gera resíduos, que se não forem destinados a locais corretos, poluem o meio ambiente.

As argilas são materiais não renováveis, pois possuem um recurso finito no meio ambiente. Segundo Gesicki (2002) e Santos (2005) no Brasil são cerca de 70 milhões de toneladas de material consumido por ano, contemplando 12 mil empresas que estão espalhadas pelo país sendo de blocos cerâmicos, telhas, etc, até tecnologia de ponta para medicina e indústria, grande parte de pequeno e grande porte, gerando milhares de empregos.

Buscando um destino para o resíduo de carvão ativado e a redução no consumo de argila em uma olaria, será realizada uma análise da implementação do resíduo de carvão ativado na massa de argila, para compreender quanto de resíduo será consumido e qual a redução de argila na produção de materiais cerâmicos.

Assim, procurou-se utilizar o resíduo de carvão ativado de uma empresa de Guarapuava-PR, na massa de argila de cerâmica vermelha da região de Prudentópolis-PR, analisando a alteração no impacto ambiental e nos custos de produção, em uma olaria de Prudentópolis-PR.

## 1.1 Delimitação do Tema

Estudo da implementação de argila dopada com resíduo de carvão ativado numa olaria de Prudentópolis - PR

## 1.2 Problema de Pesquisa

Quais os impactos da implementação de material cerâmico dopado com resíduo de carvão ativado em uma olaria de Prudentópolis-PR?

## 1.3 Objetivos

Em seguida será apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos desta monografia.

### 1.3.1 Objetivo Geral

- Estudou-se a viabilidade da implementação de material cerâmico dopado com resíduo de carvão ativado em uma olaria de Prudentópolis – PR.

### 1.3.2 Objetivo Específico

- 1- Analisou-se o consumo de argila em lotes de materiais cerâmicos *in natura* com o dopado
- 2- Realizou-se análise de custo final do produto *in natura* e dopado.
- 3- Analisou-se o consumo percentual de água para boa plasticidade de materiais cerâmicos *in natura* e dopado.
- 4 Foi comparado os resultados do material proposto com o natural.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico foi feita uma revisão bibliográfica acerca de argilas, materiais cerâmicos, métodos de caracterização e carvões ativados.

### 2.1 Carvões Ativados

Segundo Claudino (2020, p.6) os carvões ativados são materiais que tem uma forma não gráfica, que passaram por um processo para aumentar a sua porosidade interna. Após passarem por este processo, seus canais multiplicam-se e bifurcam-se em canais mais estreitos, e assim por diante. O tamanho de sua porosidade pode ser medido em macro, meso e microporosidade. A maioria dos carvões ativados possuem área superficial variando entre 10 a 15 m<sup>2</sup>/g A porosidade elevada se dá no momento da ativação, que é quando a oxidação dos átomos de carbono aumentam a área superficial. Quando ativado, ele pode possuir uma área superficial acima de 800 m<sup>2</sup>/g.

O carvão ativado pode ter diversas funcionalidades, como a purificação de águas residuais (HAGER, 1976) ou então a redução de gases poluentes como monóxido de carbono e a suportaçãõ de catalisadores para reação gás sólido (JUNGTEN, 1976).

#### 2.1.1 Produção do Carvão Ativado

Bernardo (1997) afirma que as matérias primas usadas rotineiramente na produção do carvão ativado são a casca de coco, carvão mineral (antracido, betuminoso e lignitici), madeiras de alta e baixa densidade, trufa, resíduos de petróleo e resíduos industriais.

A produção do carvão ativado é feita a partir da pirólise do precursor e a ativação propriamente dita (BORGES, 2003.)

O processo de carbonização é definido por Baçaoui (2001), Zhonghuahu (2001) e Sousa (2007) como uma decomposição térmica (chamada de pirólise) do material carbonáceo a temperaturas acima dos 500°C, que elimina o material não carbônico e produz um amontoado de carbono fixo com uma composição porosa rudimentar e uma área superficial normalmente na faixa de algumas dezenas de m<sup>2</sup>/g, onde diversos poros finos e fechados são formados nesta etapa.

### 2.1.2 Processo de Ativação

Reinoso (2006) discute que a ativação se dá quando o material carbonizado é submetido a processos secundários de reações, para elevar a área superficial. Neste processo espera-se controlar algumas características do material como a distribuição de poros, a área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica, entre outros, dependendo da sua futura utilização.

Soares (2001), Borges (2003) e Mohan e Pittman (2006) explicam que a ativação pode ser química ou física. A ativação química é feita a partir da impregnação de cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub>), ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e hidróxidos de metais alcalinos no material não carbonizado. A temperatura é elevada moderadamente de 400°C a 600°C, onde são formadas as ligações ditas cruzadas, tornando o material menos propenso à volatilização e também ocorre as ligações de valência livres do adsorvente no adsorbatos. Já a ativação física é feita na interação do carvão com vapores de água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ou mesmo a misturas dos dois gases a uma temperatura mais elevada (cerca de 800°C), que são carbonizadas, fazendo com que as moléculas se liguem facilmente ao adsorvente, sem alterar as características físicas.

Tendo em vista os diferentes tipos de ativação, cada meio de produção gera carvões com características estruturais, de textura e superfície distintas. Com a diferença de sua área superficial interna e porosidade elevada, o tamanho desses poros pode ser considerado como uma de suas características mais importantes, pois influenciam diretamente na adsorção. Na carbonização a matéria prima sofre decomposição e gera gases voláteis e resíduos sólidos (carvão) com diversos poros (BOENHORFF, 1980; MULLER, 2008).

Ao redor do mundo, são produzidas cerca de 400.000 toneladas de carvão ativado. São cerca de 150 companhias produtoras de carvão ativado, entre as maiores, podem ser citadas Calgon, Norit, Nuchar, Westvaco, e Chemivron (MARSH, 2001; FERNANDES, 2010).

Pannirselvam (2005) mostra alguns dos materiais adsorventes utilizados no Brasil. A sílica em gel é utilizada para purificação de gases, remoção de umidade, refino de derivados de petróleo. O carvão ativado é utilizado na adsorção de orgânicos, gases e purificação de água. Os polímeros são utilizados como adsorventes de solutos polares em soluções aquosas e a alumina ativada na remoção de contaminantes, desidratação de gases e líquidos.

### 2.1.3 Adsorção

A adsorção é a acumulação de um elemento na superfície (interface entre a superfície sólida e a substância adjacente) (MOHAN, 2006; PITTMAN, 2006).

Muller (2008) define o adsorbato como o material que se acumula numa interface, o adsorvente é a superfície na qual o adsorbato se acumula, o adsorvido é o íon ou molécula que tem a capacidade de ser adsorvido.

Fernandes (2010) diz que quando duas substâncias que são imiscíveis são postas em contato, a concentração de uma numa fase é maior na interface do que no interior na mesma. Esta acumulação é chamada de adsorção, em que os fluidos podem ser absorvidos em uma superfície sólida onde o sólido é caracterizado por adsorvente, por receber este acúmulo de material, e o fluído de adsorbato, pois está sendo adsorvido. A dessorção é quando o material se desprende da camada sólida, voltando a sua característica anterior.

A adsorção pode ser física ou química. A física das forças entre o adsorbato e a superfície do adsorvente são relativamente fracas, e são conhecidas como adsorção de Van der Waals. A química os elétrons são compartilhados entre o adsorbato e adsorvente, formando uma ligação química. Esta interação é muito mais forte e pode ser chamada de quimissorção. (DI BERNARDO E DANTAS, 2002; MULLER, 2008).

No carvão ativado, a principal interação é a adsorção física. As moléculas de gases têm menos grau de liberdade no estado adsorvido que no estado livre, e a



adsorção é um processo espontâneo e reversível. O equilíbrio na distribuição das moléculas do adsorbato depende da pressão do gás que está sendo adsorvido e da temperatura (DI BERNARDO E DANTAS, 2002; MULLER, 2008).

## 2.2 Argila

Neste tópico será tratado o histórico das argilas, características físicas, químicas e mecânicas, histórico e produção do material cerâmico e suas características.

As argilas, para cerâmica vermelha ou estrutural, tem como característica principal a cor avermelhada que adquire no momento da queima. Essa coloração está diretamente ligada ao alto teor de óxido de ferro, geralmente superior a 4% (FANCICANI, 1992; CONCEIÇÃO FILHO e MOREIRA, 2001).

### 2.2.1 Considerações acerca da Argila

Há cerca de 10.000 anos, o homem já produzia materiais provenientes de barro, para adornos ou materiais domésticos.

A argila é um tipo de solo que se encontra em quase todos os tipos de solo. Elas podem ser encontradas também em depósitos chamados de barreiras, onde a maior parte do solo é apenas argiloso. (GRIM, 1979).

Junior *et. al.* (2008) explicam que argila é o termo empregado para designar um material inorgânico, de granulometria fina, com partículas de poucos micrometros, que tem um comportamento plástico quando adicionada determinada quantidade de água. Do ponto de vista de um sedimentólogo, as partículas de argila são inferiores a 2  $\mu\text{m}$  ou 4  $\mu\text{m}$  segundo as escalas de Atterberg e Wentworth, respectivamente.

As argilas, para cerâmica vermelha ou estrutural, tem como característica principal a cor avermelhada que adquire no momento da queima. Essa coloração está diretamente ligada ao alto teor de óxido de ferro, geralmente superior a 4% (FANCICANI, 1992; CONCEIÇÃO FILHO e MOREIRA, 2001).

De uma maneira geral, as argilas presentes no território brasileiro são aluvionares, constituindo-se basicamente de caulinitas detríticas, devido a alta disponibilidade do material na fonte. O clima quente e úmido existente no período de sua formação, Quaternário e final do Terciário, favoreceu o surgimento da caulinita, seguindo-se de erosão e carreamento detrítico nas estações chuvosas (JUNIOR et.al, 2008).

No Brasil, cerca de 1% do PIB é decorrente da indústria cerâmica, e 40% deste é pela participação da cerâmica vermelha. São cerca de 70 milhões de toneladas de material consumido por ano, contemplando 12 mil empresas que estão espalhadas pela nação. Grande parte é de pequeno porte, gerando milhares de empregos (GESICKI, 2002; SANTOS, 2005).

A maior parte das jazidas brasileiras não têm controle técnico ou científico para que a utilização do material seja consciente, racional e otimizada. (MENEZES, 2001).

As argilas são materiais muito heterogêneos, tendo em vista a sua formação geológica e também a localidade de sua extração. Para sua utilização é indispensável conhecer suas características e propriedades, a fim de que se tome o melhor caminho na sua produção, utilizando a tecnologia mais adequada para seu processamento e então atingindo o objetivo final do material (MORAIS, 2006). A composição final do material está estreitamente ligada à sua constituição, plasticidade e composição mineralógica (MORAIS, 2006; DUTRA, 2006).

O conhecimento dessas características físicas, mecânicas e químicas dos materiais argilosos são considerados etapas importantes no processamento, pois influenciam diretamente na qualidade final do produto (FITZJOHN, 1990; SOUZA, 2005).

O fabricante, diante do conhecimento das características e entendimento da importância dos mesmos, pode garantir a melhora das propriedades do produto final o que possibilita a flexibilidade, redução de custos de produção e aumento no valor agregado do material. Esse conhecimento não é apenas de valor acadêmico, mas também de grande interesse comercial (SOUZA, 2005).

### 2.2.2 Propriedades da Argila.

De acordo com Tallini (2009) e Meira (2001) as argilas possuem algumas propriedades definidas por:

**Granulometria:** Os minerais argilosos têm em seus constituintes pequeníssimas dimensões, em regra, com tamanho inferior a 2 microns.

**Plasticidade:** É uma propriedade que se percebe na mudança de forma sem fissuração de uma massa feita com argila e água, por aplicação de uma força exterior e pela retenção da forma quando a força é removida ou reduzida abaixo de certo valor, correspondente a tensão de cedência. Esta propriedade é muito importante e tem como relação direta a quantidade de água. O excesso de água deixa a argila muito plástica, tornando-a imprópria para o manuseio.

**Retração Linear:** A retração linear depende da densidade aparente da peça prensada, bem como sua composição de massa e condições de queima.

**Absorção de Água:** A absorção de água é utilizada para medir a porosidade e avaliar o material fundido. Logo é uma característica intrínseca ao material queimado. Ela é definida como o ganho em peso, expresso em porcentagem, quando a peça é introduzida em água durante um período de tempo determinado. Ainda, uma baixa absorção de água tem influência direta no tempo de vida útil do tijolo, por exemplo. Quanto menor a absorção de água, maior será a sua durabilidade.

**Porosidade:** A porosidade do material final, após queimado, está relacionada com a porosidade inicial da argila no seu estado verde, seco, da deformação na fase líquida e do arranjo das fases cristalinas. Quanto maior for a porosidade do material, maior será a penetração de fluidos. A excessiva porosidade acaba por gerar uma maior passagem de líquidos que é acompanhada por um dano estrutural no material. Em tijolos, por exemplo, um grande número de poros pode causar danos em sua estrutura afetando sua resistência. A porosidade também pode afetar o módulo de elasticidade do material. Quando ocorre um aumento na porosidade, há diminuição de seu módulo de elasticidade. Por consequência, um aumento na porosidade aumenta a fragilidade do material, diminuindo assim a sua resistência mecânica.

**Massa Específica Aparente:** Quando há o aumento da massa específica aparente (densidade), por conta da compactação do material, significa que houve uma deformação plástica dos grânulos que, quando sofreram deformação, passaram a ocupar os espaços vazios que haviam entre eles. Como a massa do material, em um estudo empírico, é geralmente constante, só se pode variar a densidade com a

diminuição ou aumento do volume. Logo, esta propriedade está diretamente ligada com os valores de resistência à flexão das peças cerâmicas, absorção de água e retração linear.

**Resistência Mecânica:** Geralmente os materiais cerâmicos possuem alto módulo de elasticidade, são frágeis e bastante duros. No processo de sinterização das amostras, antes mesmo que ocorra o patamar mais alto, ocorrem mudanças nas fases cristalinas do material argiloso. Onde, ocorrem reações químicas e a formação de uma nova fase cristalina e fusões parciais. Esse material, após sofrer todas as transformações acaba por possuir uma resistência maior, se tornando mais rígido que o natural.

Tais características são de extrema importância na fabricação de materiais cerâmicos, tendo em vista que o controle dessas características geram materiais com características distintas.

### 2.3.3 Cerâmica Vermelha

Segundo Junior *et. al.* (2008), as argilas que são utilizadas na indústria da cerâmica vermelha (ou comuns) abrangem diversos minerais. Os sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como as argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que quando queimam, adquirem cores avermelhada, são sinterizadas em temperaturas entre 800 e 1250°C. Ainda, por serem materiais extremamente finos, adquirem diferentes graus de plasticidade dependendo de sua composição, além de sua resistência verde, a seco e após a queima, que é um processo importante na obtenção de diversos materiais comerciais.

Na indústria brasileira, a cerâmica vermelha é matéria prima para a produção de blocos de vedação e estruturais, telhas, tubos, ladrilhos, entre outros. Em 1960, o setor cerâmico cresceu devido a criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional de Habitação. Tal política habitacional impulsionou o setor a desenvolver-se (JUNIOR *et.al.*, 2008).

Stroher *et.al.* (2017) citam que o Brasil é considerado o segundo maior consumidor de cerâmica no mundo, sendo 70 bilhões de peças produzidas em um único ano, sendo que 25% é considerado telha, 75% lajotas, pisos e blocos. A

construção civil é responsável por cerca de 49% da totalidade de resíduos, que sem o destino correto geram vários problemas ambientais.

Na construção civil, a cerâmica vermelha é um material de grande importância no setor construtivo brasileiro, sendo encontrada nas vedações e coberturas. O alto consumo de materiais cerâmicos gera também uma elevada utilização de material não renovável (STROHER *et.al.*, 2017).

A reutilização desse resíduo como agregado é cada vez mais utilizado devido ao alto custo ambiental causado pela extração do material não renovável. Por isso, está cada vez mais em voga a prática de construção sustentável na Indústria da construção brasileira (SILVA, 2021).

Segundo Silva (2012), a quantidade de matéria prima dentro dos grandes aglomerados urbanos do país está diminuindo, tendo em vista o mal planejamento, os problemas ambientais, zoneamentos restritivos e usos competitivos do solo. Devido a sua grande exploração, está se tornando questionável a disponibilidade desse material, no futuro.

Junto com o crescimento da construção civil, também intensificou-se a busca por inovação, onde novas linhas de produtos foram desenvolvidas, o que alavancou também a diversificação de minerais industriais utilizados na produção de cerâmica (CABRAL *et.al.*, 2002).

Junior *et.al.* (2008) relatam que tal setor tem uma estrutura diversificada, onde existem desde olarias (pequenas produtoras familiares de materiais cerâmicos) com deficiência de equipamentos, e empreendimentos de médio e grande porte com tecnologia de ponta. Boa parte delas baseia-se em custos, porém com o desenvolvimento de novas tecnologias a competitividade acirrou-se e surgiram programas de qualidade, com implementação de laboratórios de pesquisa, mão de obra qualificada e desenvolvimento de pesquisas sobre resíduos da massa de cerâmica.

Junior *et.al.* (2008) citam que o setor da cerâmica vermelha utiliza a massa monocomponente, composta de argila (mistura de caulim, filito, rochas feldspáticas, talco e rochas calcárias). A sua produção é geralmente realizada pelo ceramista de maneira empírica. Ele visualiza e faz a mistura de argila gorda, rica em plasticidade e de granulometria fina, com a magra, rica em quartzo e menos plástica, que permite a drenagem das peças nos processos de secagem e queima.

No processo da fabricação, a massa é umidificada acima do limite de

plasticidade, e misturada em homogeneizadores, passando por uma extrusora (marombas), adquirindo o formato final (blocos, lajes, lajotas, tubos) ou então são direcionadas as prensadas para produção de telhas ou vasos (JUNIOR *et.al.* 2008).

O processo é diferente para produção de materiais agregados cerâmicos, onde o material cerâmico tem teor controlado de fundentes (álcalis) e de substâncias formadoras de gases (hidróxidos de ferro, matéria orgânica e carbonatos), que após sinterizados geram uma região vítrea - com queimas controladas de 1100°C a 1200°C - causando a expansão do material (JUNIOR *et. al.*, 2008)

Junior *et. al.* (2008) afirmam que para a produção de tijolos as argilas devem ser moldadas facilmente, apresentar valores de tensão de ruptura de médio a elevados, cor vermelha após a queima, poucas trincas e empenamentos. Deve ainda apresentar teores elevados de ferro divalente e baixos teores de elementos alcalinos e alcalinosterrosos.

Para a produção de telhas cerâmicas, Junior *et. al.* (2008) explica que as argilas devem ter plasticidade adequada para a moldagem, tensão de ruptura à flexão elevada quando secas, de forma a permitir o manuseio durante o processo de fabricação. Após a queima deve apresentar baixa porosidade aparente e baixa absorção de água e não apresentar trincas e empenamentos após secagem e queima. A cor, após a queima, deve ser vermelha, visto que a tradição do mercado brasileiro é pelas cores vivas, variando de alaranjado ao vermelho. Por outro lado, argilas com baixo teor de ferro resultam em telhas de cores claras, com características cerâmicas também adequadas para fabricação de telhas e tijolos. Ressalta-se que, em relação à cor, atualmente há uma aceitação crescente, sobretudo nas regiões costeiras, com destaque no Nordeste, de telhas brancas ou claras. Este fato é atribuído, provavelmente, às melhores características de resistência às intempéries locais – atmosfera salina – propiciado por essas telhas brancas por apresentar um menor conteúdo de sais solúveis (ainda em estudo).

### **2.3 Considerações Acerca de Olarias do Município de Prudentópolis**

### 2.3.1 Município de Prudentópolis

Segundo o IBGE (2021), Prudentópolis foi colonizada a partir de Firmo Mendes de Queirós, onde estabeleceu residência pela possível valoração das terras por onde passaria a grande estrada. Em 1884 foi denominada de São João de Capanema, com a vinda de diversas famílias e então a formação de uma “vilinha”.

IBGE (2021) ainda explica que em 1894 o diretor da colônia, Cândido Ferreira de Abreu, homenageou o então atual presidente da república, Prudente de Morais, e mudou o nome da vila para Prudentópolis.

Em 1895 apresentava aspecto de povoação próspera, com ruas bem traçadas, movimentadas pela contínua chegada de famílias polonesas e ucranianas, destinadas às linhas abertas ao norte e a oeste da sede.

Em 1896 foi criada, pela Lei n.º 221, de 15 de dezembro, uma cadeira de instrução primária. Já em 1897, pela Lei n.º 251, de 14 de dezembro, criou-se a segunda cadeira.

O Decreto n.º 225, de 15 de setembro de 1903, criou uma Agência Fiscal em Prudentópolis, compreendendo todo o distrito policial desse nome. Seu contínuo desenvolvimento reclamava, então, uma organização político-administrativa mais de acordo com suas necessidades. A administração da colônia havia nessa época, dado por terminada sua gestão com a localização de 120 famílias de imigrantes, que se dedicavam à agricultura e prosperavam rapidamente.

### 2.3.2 Olarias de Prudentópolis

A cidade para aplicação do estudo foi Prudentópolis, Paraná, que está situada no Segundo Planalto do território paranaense. Sua formação geológica é predominantemente representada por sedimentos e rochas vulcânicas da Bacia do Paraná (MINEROPAR, 2001).

Em Prudentópolis, especificamente nas áreas utilizadas para retirada de matéria argilosa encontram-se as Formações Teresina e Rio do Rastro. A formação Teresina apresenta predominância de camadas intercaladas de calcários e algumas coquinóides (camadas ricas em conchas), e a formação Rio do Rastro apresenta

sedimentos arenosos. Com essa formação geológica, o município é formado por um manto com espessura mínima de 10 metros de depósitos de argilas residuais, isso permite a grande retirada de matéria prima para as olarias presentes na região (MINEROPAR, 2001). Aproximadamente 80 cerâmicas estão em funcionamento nessa área, dentre elas várias com produtos de excelente qualidade.



### **3 METODOLOGIA**

Neste tópico serão apresentados alguns processos experimentais que são utilizados para caracterização das cerâmicas, sendo: propriedades estruturais (Difração de Raios-x) e propriedades microestruturais Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

#### **3.1 Delineamento da Pesquisa**

A presente pesquisa tem caráter explicativo no qual estudou a influência da adição de resíduo de carvão ativado na massa de argila, compreendendo as características físicas, químicas e mecânicas do material desenvolvido. Segundo Gil (2008, p.27) as pesquisas explicativas têm por finalidade identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, este tipo de pesquisa é o que mais se aproxima da realidade, pois, busca entender o porquê e a razão das coisas.

#### **3.2 Procedimento da coleta de dados**

O presente trabalho é classificado como pesquisa de caráter experimental. Segundo Gil (2008, p.16) o método experimental é utilizado para submeter objetos de estudo sob a influência de certas variáveis, em que são conhecidas e controladas pelo investigador.

O procedimento adotado foi a aplicação de questionário ao dono da olaria Floralia localizada no município de Prudentópolis-PR para coletar informações como: consumo de argila, consumo de carvão ativado, tipo de material produzido e unidade de venda.

O estudo tem caráter quantitativo (GIL, 2008), pois foram feitas análises em cima de dez (10) amostras do material *in natura* e 10 amostras por concentração de adição de resíduo, totalizando 90 amostras (GIL, 2008, p.16).

Também é classificado como qualitativo (GIL, 2008, p.18), pois foram feitas análises microestruturais para demonstrar as propriedades intrínsecas do material,

medidas físicas para analisar a resistência, e medidas químicas para conhecer a constituição do material.

### 3.3 Procedimento da Análise de Dados

De acordo com Gil (1999, p. 168) a análise de dados tem como objetivo organizar e resumir os dados de uma forma que possibilite o fornecimento de respostas do problema proposto para a investigação.

#### 3.3.1 Produção dos Corpos de Prova

A argila foi proveniente de uma olaria do município de Prudentópolis-PR e o resíduo de carvão ativado foi proveniente de uma indústria de produção de carvão ativado no município de Guarapuava-Pr.

Separou-se as amostras em grupos: *in natura* - contemplando a argila pura-, argila dopada com 5% de resíduo de carvão ativado, argila dopada com 10% de resíduo de carvão ativado e argila dopada com 15% de resíduo de carvão ativado, como proposto por Vieira *et. al.* (2007).

O material foi produzido na Universidade Estadual do Centro-Oeste, no campus CEDETEG na cidade de Guarapuava-Pr no departamento de Física (DEFIS).

A argila foi moída com auxílio de almofariz e pistilo. Em seguida foi moído o resíduo de carvão ativado com auxílio de almofariz e pistilo. Ambos os materiais foram peneirados em peneira malha 150mm. Foi separado os grupos com suas devidas proporções.

Foi confeccionado 10 corpos de prova esféricos de 3g por concentração de material dopado com resíduo de carvão ativado em suas devidas proporções e para o material puro, tendo assim um critério de comparação.

Todos os corpos de prova, logo após terem sido moldados, passaram por secagem em estufa por 24h a temperatura de 110°C. Após a secagem em estufa, o material foi levado ao forno e sofreu o processo de sinterização à 850°C por 2 horas a taxa de aquecimento 5°C/min .

Para cada etapa anterior, foi obtida a massa a partir de uma balança analítica. Após a sinterização, as medidas das propriedades físicas dos corpos de prova foram analisadas a partir do princípio de Arquimedes para determinar a porosidade aparente (PA), a absorção de água (AA), a densidade aparente (DA) e a porcentagem de água para boa plasticidade seguindo as diretrizes propostas pela *American Society for Testing and Materials*, ASTM (ASTM, 2010).

Foi obtido a partir de medida com paquímetro digital da marca Vonder® 4 medidas de diâmetros para determinar a área da seção transversal da esfera para obtenção da tensão de ruptura, no ensaio de compressão.

Foi realizada medida de resistência mecânica em cada amostra em uma Máquina Universal de Ensaios, marca Shimadzu, modelo AGX 100kN, por ruptura à compressão e flexão.

O procedimento adotado para determinação da composição química foi a difração de raios-x (DRX) pois esta técnica é indicada para identificação de fases cristalinas presentes no material, possível a partir do material cristalino onde os átomos estão posicionados em arranjo repetitivo ou periódico de longo alcance, e a distância entre os planos cristalinos é compatível ao comprimento de onda dos Raio-X (CULLITY, 2001).

A análise de microscopia eletrônica de varredura – MEV - foi feita na cidade de Maringá, Paraná, no laboratório multiusuário da Universidade Estadual de Maringá. O MEV foi realizado no equipamento Thermo Fischer Scientific/Philips Quanta 250 , com voltagem de aceleração de 20 kV para cada grupo de amostras na região de sua fratura.

### 3.3.2 Questionário

.Um questionário foi aplicado em uma olaria de Prudentópolis-PR com as seguintes questões:

- 1) Assinale os materiais cerâmicos que você produz:
- 2) Qual o peso médio de uma peça:
- 3) Como o material é vendido? Milheiro, centena?
- 4) Qual o preço médio de venda?

- 5) Qual o custo da produção?
- 6) Quantos por cento do custo da produção está diretamente ligada a argila?
- 7) Você produziria material cerâmico dopado com resíduo de carvão ativado?

A primeira pergunta tem o objetivo de identificar se a olaria produz os dois materiais mais utilizados na construção civil brasileira do ramo cerâmico.

A segunda e terceira visam comparar o material produzido com o dopado, realizando a análise de economia de argila e água e consecutivamente da quantidade de resíduo consumido no processo de sinterização.

A quarta e a quinta têm o intuito de entender a consequência econômica na produção de tais materiais, no caso da implementação do sistema de produção de material dopado com resíduo.

A sexta pergunta visa o conhecimento da possível adesão do olarista.

A partir dos dados coletados no questionário, uma análise comparativa entre o material *in natura* e o material dopado foi realizada a fim de ter conhecimento do consumo percentual de argila, do consumo de resíduo e da economia financeira gerada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análises Físicas

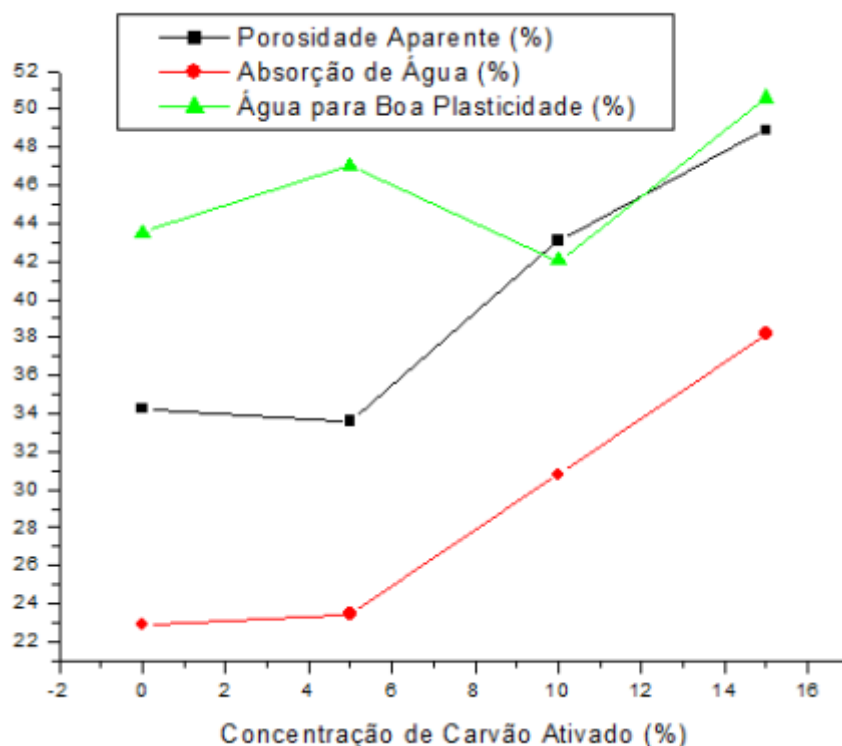
A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio de porosidade aparente do produto desenvolvido. Apenas a amostra com adição de 5% de carvão ativado obteve um valor inferior ao da argila pura. Com esses resultados foi possível observar que quanto maior a adição de carvão ativado, maior a porosidade aparente das amostras, que pode acarretar em uma menor resistência (MENEZES et.al., 2016).

Isto se deve porque, como na Figura 1, o carvão ativado sofre a queima total ou parcial de suas moléculas, formando assim, gás carbônico que cria canais para serem eliminados. Então, dentro do corpo de prova na argila dopada surgem poros deixados pelos vazios gerados na queima do carvão ativado.

Ainda, a Figura 1 mostra os resultados obtidos para a absorção de água das amostras. O incremento de resíduo de carvão ativado aumentou a absorção de água do material estudado. Pinheiro *et. al.*(2008) afirmam em seu trabalho que a propriedade de absorção de água está associada com a porosidade aberta do material. A combustão do resíduo de carvão ativado presente nas amostras fez com que, no lugar antes ocupado pelas moléculas de carvão ativado, surgissem vazios aumentando a porosidade do material. Ainda, quanto maior a absorção de água, menor será a durabilidade do material tendo em vista que aumenta o nível de percolação de líquidos, geralmente água, por entre os poros do material (TALLINE, 2009).

A Figura 1 apresenta também os resultados para a porcentagem de água para boa plasticidade das amostras dopadas com carvão ativado. A porcentagem de água necessária para que a argila vermelha obtivesse forma, ou seja, porcentagem para sua boa plasticidade, cresce quase linearmente. Isto pode ter ocorrido por diversos fatores, tais como a adsorção de água sofrida no carvão ativado entre outros. Ainda, como o carvão ativado aumentou significativamente o diâmetro das amostras por conta da sua menor densidade, deixando-a com maior superfície de contato.

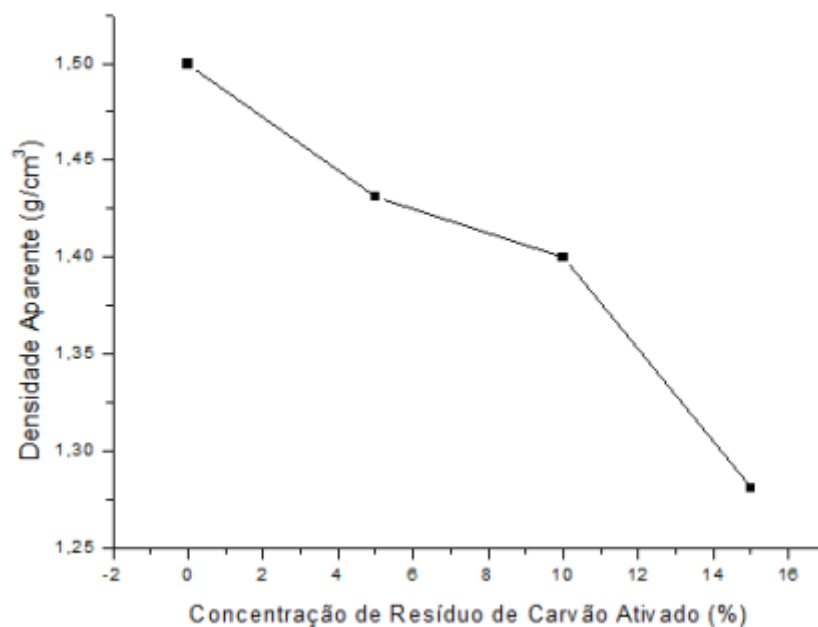
**Figura 1 - Porosidade aparente, Absorção de Água e Água para Boa Plasticidade das Amostras.**



Fonte: Do autor (2021)

A Figura 2 apresenta os resultados da densidade aparente das amostras esféricas. A densidade aparente das amostras reduziram quase linearmente. Isto pode ter ocorrido porque o volume das amostras com adição de resíduos de carvão ativado aumentaram substancialmente, e também a adição de maior quantidade de carvão, que possui menor densidade, fez com que a densidade aparente total da amostra diminuísse. Como densidade é a relação da massa pelo volume, ou seja, são grandezas inversamente proporcionais, e, para tanto, foi usado a mesma massa para a preparação de cada amostras, com um aumento do volume acaba reduzindo a densidade final da amostra (TALLINE; 2009). Ainda, Menezes *et. al.* (2016) afirmam que um maior número de poros reduz a resistência da amostra. Como o carvão ativado possui uma densidade muito baixa, ao ser acrescentado na massa de argila verde, ele aumentou muito seu volume, gerando um excesso de poros e reduzindo a densidade aparente das mesmas. O resultado encontrado difere do obtido por Vieira e Monteiro (2006), que verificaram um aumento da densidade aparente ao adicionar resíduo oleoso proveniente do setor petrolífero.

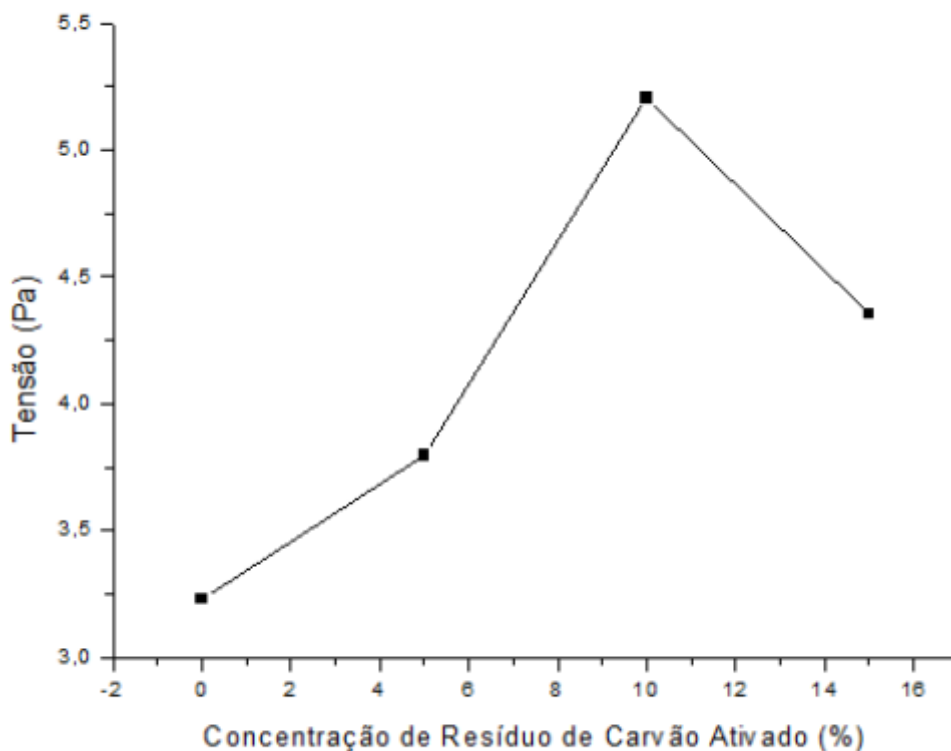
Figura 2 - Densidade Aparente



Fonte: Do autor (2021)

## 4.2 Análises Mecânicas

A Figura 3 mostra os resultados da tensão de ruptura à compressão. Com um acréscimo de 5%, 10% e 15% de carvão ativado houve um significativo aumento da resistência à compressão da cerâmica. Isto pode ter ocorrido porque o resíduo de carvão ativado libera energia, na queima, melhorando a sinterização, quando comparada com a argila pura. Porém, uma adição superior a 10% causa grande queda na resistência à compressão. Isto se deve porque, semelhante ao exposto por Pinheiro *et. al.* (2008), o carvão ativado também é um composto orgânico que, pela combustão, gera poros nas amostras reduzindo sua resistência.

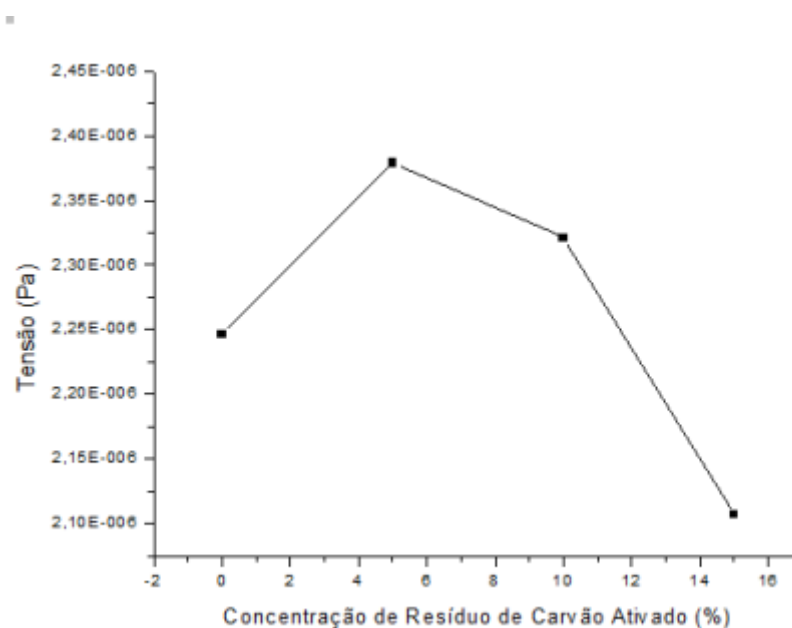
**Figura 3 - Tensão máxima de cisalhamento por compressão**

**Fonte: Do autor (2021)**

A Figura 4 mostra a tensão de ruptura por flexão. É possível observar que, com a incorporação de 5% de resíduo de carvão ativado, a resistência à flexão da cerâmica aumenta. Porém, o aumento superior a 5% desse resíduo em relação ao volume total diminui a sua resistência. Esses poros por sua vez acabam por diminuir a resistência do material, tendo em vista que nos espaços vazios surge uma zona de baixa resistência por não existir material preenchendo aquelas determinadas áreas



Figura 4 - Tensão máxima de cisalhamento por flexão.



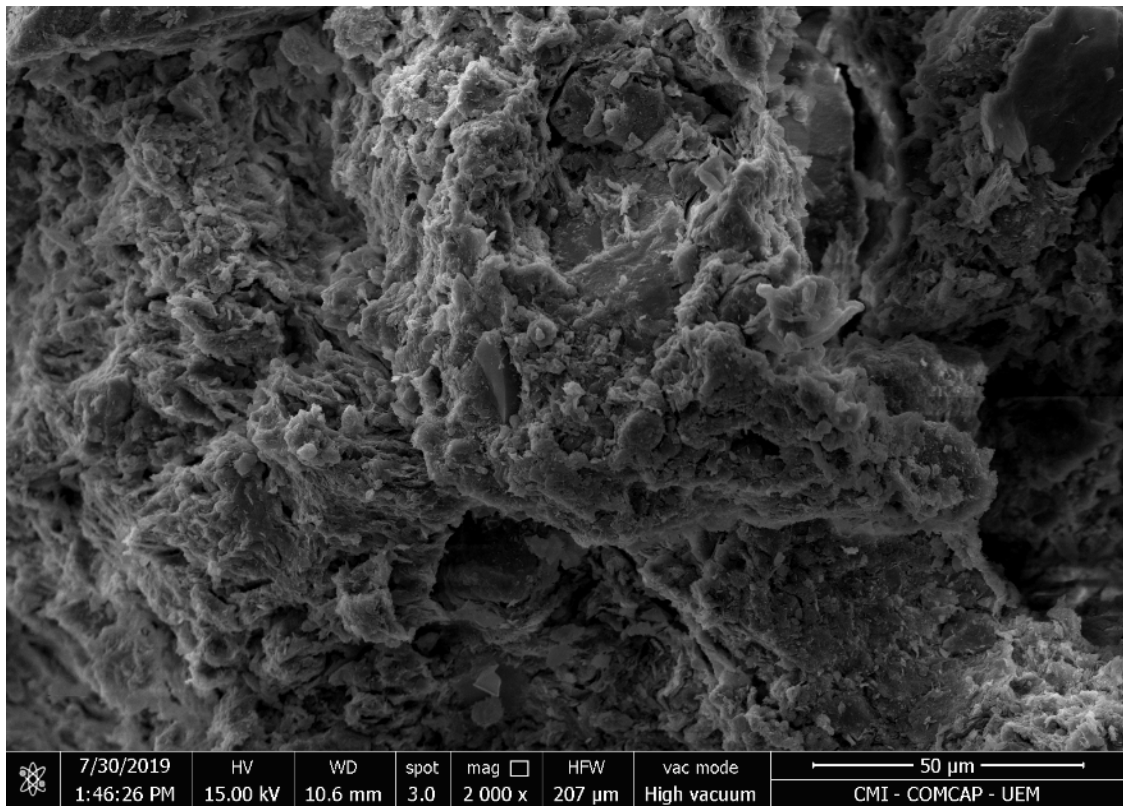
Fonte: Do autor (2021)

### 4.3 Análises Químicas

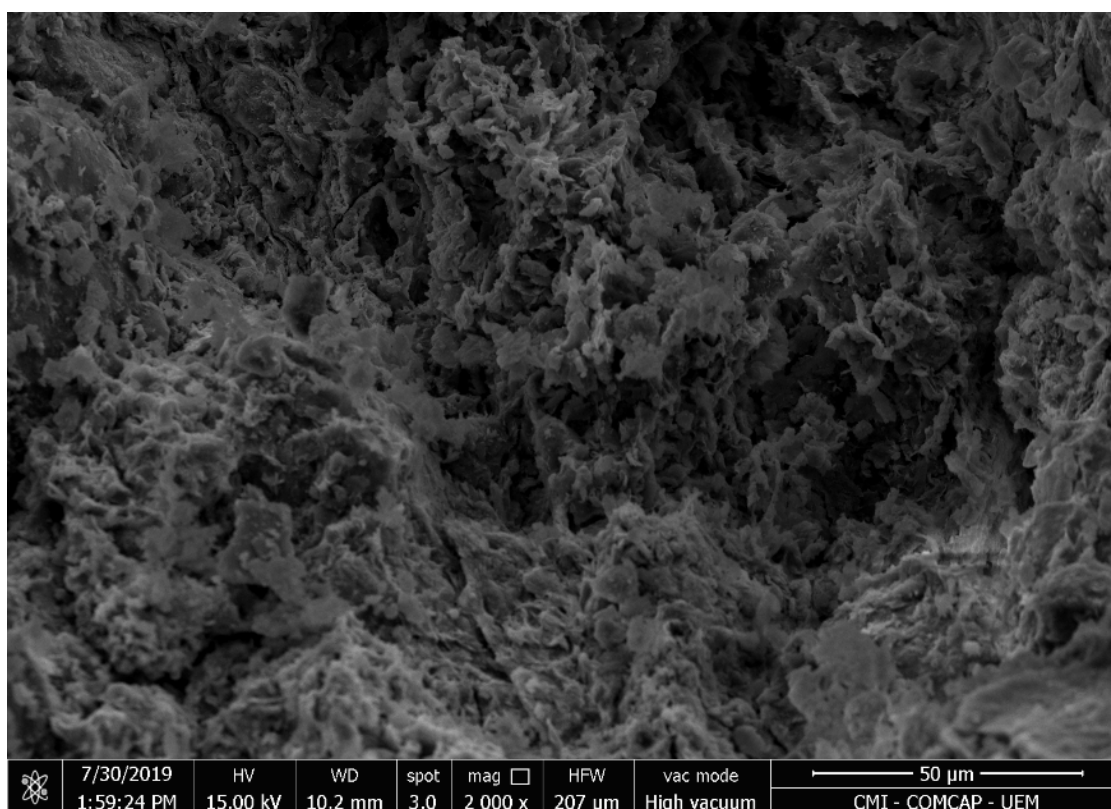
As figuras a seguir apresentam as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura da fratura do material. A Figura 6 apresenta a argila *in natura*, a Figura 7 apresenta a argila dopada com 5% de resíduo de carvão ativado, a Figura 8 apresenta a argila dopada com 10% de resíduo de carvão ativado, e a Figura 9 apresenta a argila dopada com 15% de resíduo de carvão ativado.

Morfologicamente é possível notar que a superfície da amostra é rugosa e com poros aparentes. Morfologias semelhantes foram notadas por Vieira e Colaboradores (2008) onde suas análises mostram uma superfície amorfa do material dopado com lodo.

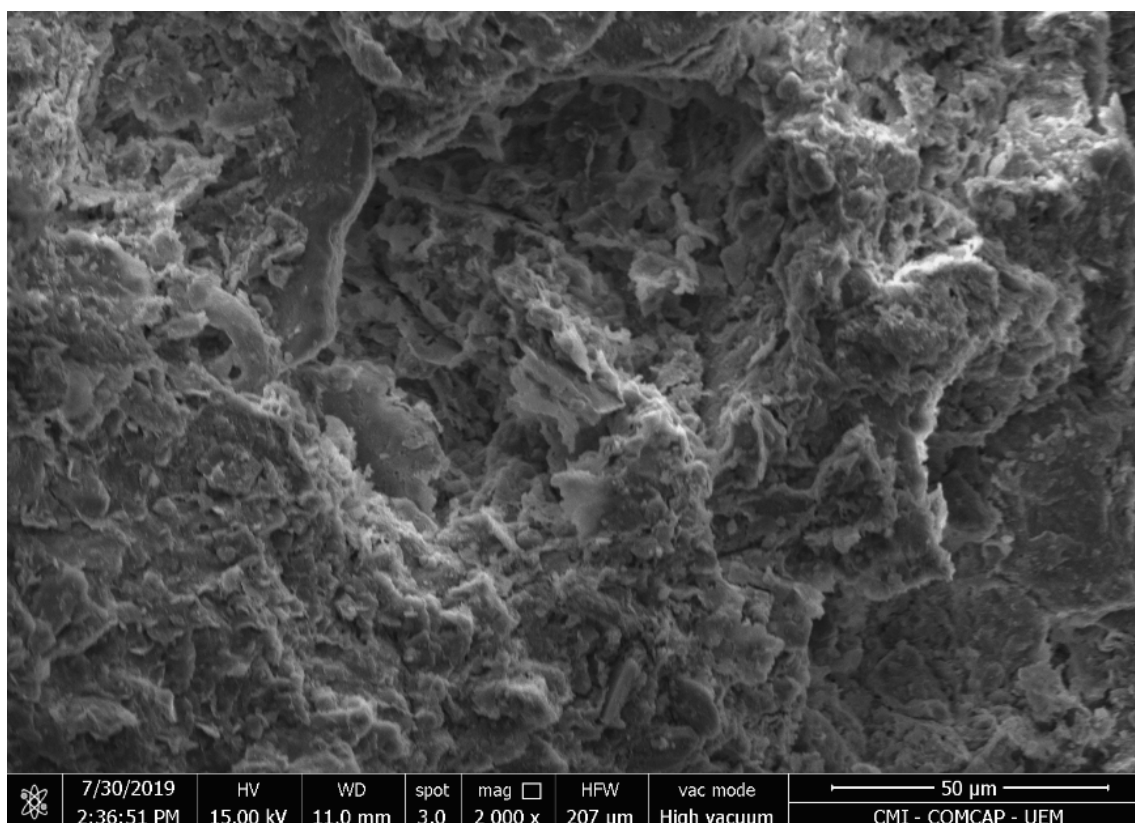
**Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura amostra in natura**



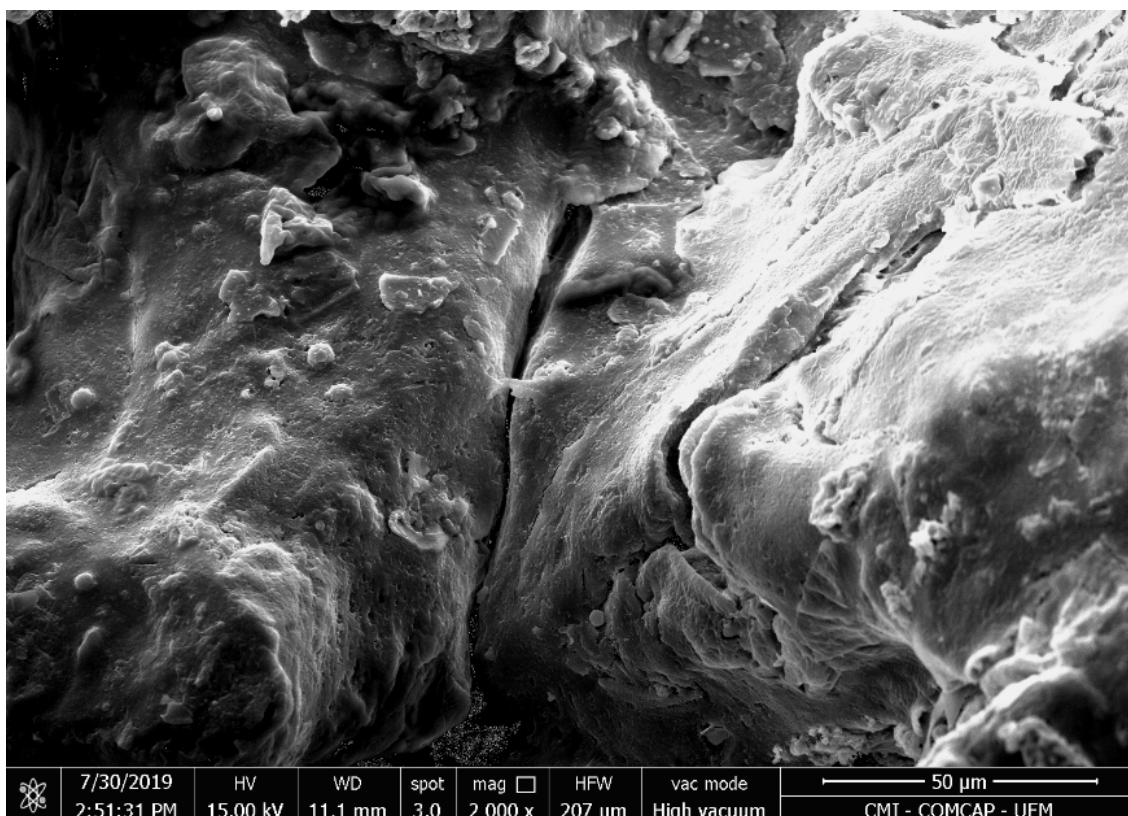
**Fonte: Do autor (2021)**

**Figura 6 - Microscopia eletrônica de varredura 5% de resíduo**

Fonte: Do autor (2021)

**Figura 7 - Microscopia eletrônica de varredura 10% de resíduo**

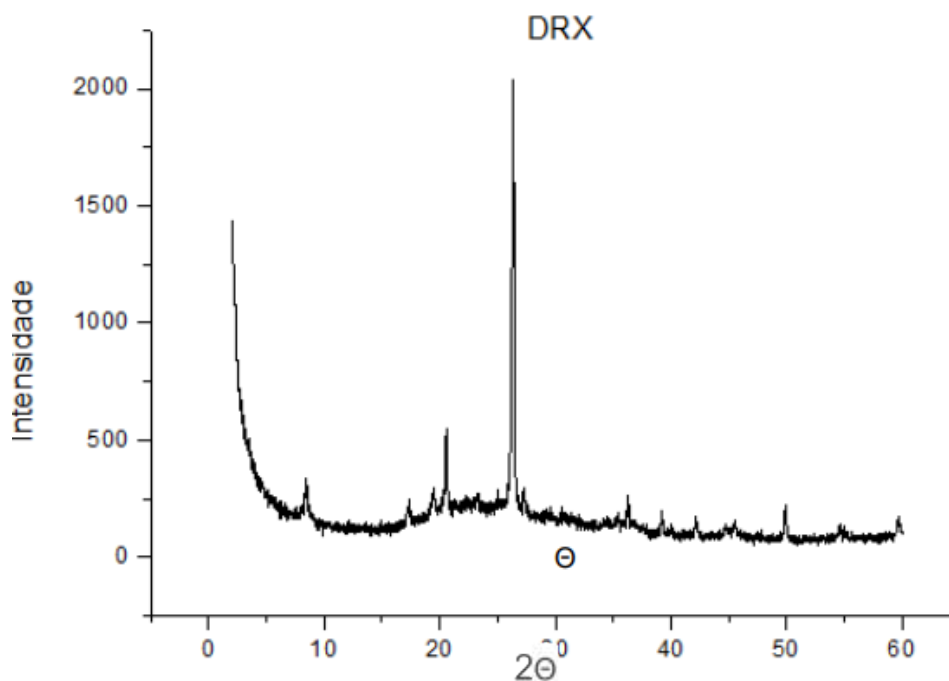
Fonte: Do autor (2021)

**Figura 8 - Microscopia eletrônica de varredura 15% de resíduo**

**Fonte: Do autor (2021)**

A Figura 9 representa a difração de raio X da argila. Na posição  $2\theta$  entre 20 e 30 é possível verificar um pico de intensidade que corresponde a concentração de quartzo na presença cristalina. Há também a presença de uma banda de pequena intensidade na região de posição entre 15 e 30, que indica a presença de estruturas amorfas condizentes com as micrografias de MEV. Garcia *et. al.* (2014) relatam o mesmo em seu trabalho.

**Figura 9 - Difração de Raio X**



Fonte: Do autor (2021)

O diâmetro médio da amostra de argila pura foi de  $1,0 \mu\text{m}$ , e de resíduo de carvão ativado foi de  $0,8 \mu\text{m}$ . Quanto menor a partícula, maior a superfície de contato das amostras. O carvão ativado ocupa mais espaços no material, comprovando que sua densidade ao incorporar o resíduo na amostra virgem tende a aumentar de tamanho, gerando um número maior de poros, como é analisado por (TALLINE, 2009). Ainda, como o carvão tem por característica grande liberação de energia, é possível notar que a resistência mecânica tende a aumentar, visto que este processo de liberação de calor pode ter alavancado a sinterização da amostra como pode ser visto na microscopia eletrônica de varredura da amostra com 10% de adição de resíduo de carvão ativado.

#### 4.4 Questionário

A primeira pergunta informou que o olarista produz apenas blocos cerâmicos em sua olaria. O peso médio de uma peça do bloco cerâmico de dimensões  $9 \times 14 \times 19$  é de  $1,6 \text{ kg}$ . O material é vendido em unidades ou em milheiros. Sendo o preço médio R\$ 700,00 o milheiro, e o custo médio na produção de um milheiro é de R\$ 550,00.

A porcentagem do custo médio na produção relacionada a argila é de 10%, incluindo mão de obra para a fabricação dos blocos cerâmicos e o maquinário necessário tanto para o carregamento/descarregamento e transporte do material.

O olarista afirma não ter um parecer sobre a adição do resíduo na argila. Ele desconhece os efeitos do carvão ativado nas fases de extrusão, secagem e queima.

Conhecendo o peso médio de uma peça com dimensões 9x14x19cm, é possível afirmar, a partir dos dados experimentais, que, com uma regra de três simples, o material dopado com 10% de resíduo de carvão ativado teria em 1,44 kg. Isso indica que 0,16 kg ou 160 g deste material seria de carvão ativado. Como trata-se de um resíduo que tem sua deterioração completa na queima, 160g do mesmo seriam consumidas no processo de produção de uma peça. Tendo como consideração o fato que de o olarista vende suas peças em unidade ou milheiros, na produção de um milheiro seriam consumidos 160kg de resíduo de carvão ativado. Analogamente, tendo conhecimento que a argila é um material finito no meio ambiente (não renovável) a cada milheiro produzido, seriam poupados 160kg de argila.

Segundo Fernandes *et.al* (2019), o valor médio para a produção de um metro quadrado de alvenaria com bloco cerâmico 9x14x19cm é de R\$ 28,88.

A área de um bloco cerâmico pode ser calculado a partir da Equação 1, a seguir:

$$A = B \cdot h$$

**Equação 1:** Área do bloco cerâmico

O bloco cerâmico em questão possui uma área de 0,0266m<sup>2</sup>.

Desconsiderando a área de argamassa utilizada no assentamento, o número aproximado de tijolos é calculado a partir da Equação 2, abaixo.

$$N^{\circ}t = 1/A$$

**Equação 2:** Número de tijolos.

A NBR 15812-2:2010 afirma que a junta horizontal e vertical devem ter espessura de 10mm, aproximadamente, exceto a primeira fiada que possui ressalvas.

A tabela SINAPI informa que o rendimento da argamassa vai variar de acordo com o traço adotado, mas que é aproximadamente  $1\text{m}^3$  de argamassa para cada  $100\text{m}^2$  de alvenaria, ou então,  $0,01\text{m}^3$  por  $\text{m}^2$ .

Pela regra de três abaixo, será possível conhecer a porcentagem de argamassa em relação aos blocos cerâmicos, a cada metro.

$0,01\text{m}^3$  de argamassa -  $1\text{m}^2$  de alvenaria

$0,0266\text{m}^2$  de bloco cerâmico -  $1\text{m}^2$  de alvenaria

Conclui-se então, com as operações algébricas, que a quantidade de argamassa por bloco de alvenaria é de aproximadamente 37,6% por metro. Considerando  $1\text{m}$ , a porcentagem é de 37,6% de argamassa.

Para calcular o número de blocos necessários em um metro quadrado de alvenaria, utiliza-se número de blocos para a construção de  $1\text{m}^2$  de alvenaria descontado da porcentagem de 37,6% de argamassa, onde chamamos de número real de tijolos, na Equação 3, abaixo.

$$N^{o f, t} = N^{o f} - N^{o f} . \% \text{ de argamassa}$$

**Equação 3:** Número final de tijolos.

$N^{o f, t}$  - Número de blocos necessários total.

$N^{o f}$  - Número de blocos

Nota-se com tal cálculo que serão necessários, aproximadamente, 24 blocos cerâmicos  $9 \times 14 \times 19$  para cobrir uma área de  $1\text{m}^2$  de alvenaria.

Para conhecer a quantidade de argila utilizada na alvenaria dos blocos cerâmicos citados anteriormente sem adição de resíduo, utiliza-se a Equação 4, a seguir:

$$P_{s, r} = N^{o f, t} . \text{Massa do bloco cerâmico}$$

**Equação 4:** Peso do bloco cerâmico sem resíduo.

$P_{s, r}$  - Quantidade de argila utilizada

Daí conclui-se que a massa do bloco cerâmico para um metro quadrado de alvenaria seria de 38,4 kg, aproximadamente.

Procedimento análogo é feito para o bloco cerâmico com possível adição de resíduo e concluiu-se que a massa do bloco cerâmico para um metro quadrado de alvenaria seria de 34,56 kg, aproximadamente.

Como a porcentagem do custo envolvendo o minério é de 10%, indica que R\$ 55,00 reais é o custo envolvendo a argila. A cada milheiro vendido, então, o olarista teria uma economia significativa.

O site Cerâmica Barrense (2021) indica que são necessárias 33 unidades de blocos cerâmicos por metro quadrado quando utiliza-se o tijolo na dimensão de 9 centímetros e 45 unidades de blocos cerâmicos por metro quadrado quando utiliza-se o tijolo na dimensão de 14 centímetros.



## 5 CONCLUSÕES

A porosidade das esferas cerâmicas aumentou com o incremento de resíduo de carvão ativado. Com o aumento da porosidade pode ocorrer uma diminuição de sua resistência mecânica. No entanto, os dados de 5 e 10% indicaram não haver uma diminuição tão pronunciada.

A densidade aparente com a adição de resíduo de carvão ativado diminuiu, por outro lado, as amostras de 5% e 10% obtiveram um valor de resistência mais elevado.

A absorção de água das amostras aumentou com a adição do resíduo de carvão. Porém, para impedir a absorção de água, é possível realizar uma cobertura no material cerâmico, de maneira a impedir a percolação excessiva de água que possa vir a reduzir o tempo de vida do material. No caso da construção civil, existem tintas e argamassas com adição de materiais impermeabilizadores. Neste caso, o tijolo (material cerâmico) seria protegido e seu tempo de vida iria se prolongar.

A tensão de ruptura por compressão aumentou para as amostras de 5% e 10%. Apesar de algumas outras propriedades apresentarem um déficit, a resistência do material aumentou.

A tensão de ruptura por flexão mostrou um valor superior para a adição de 5% de carvão ativado. No geral, um acréscimo de 5% até 10% aumentaram a resistência mecânica do material cerâmico e não alteram significativamente suas outras propriedades, logo se torna viável a incorporação desse resíduo na massa de argila para cerâmica vermelha. Como o carvão ativado é um resíduo oneroso em seu descarte, um destino mais viável pode ser alcançado com a solução proposta por este trabalho.

Além disso, a melhora nas características do material estudado, acaba por reduzir o consumo de argila. Como a argila não é um material renovável, essa substituição se torna uma solução ambientalmente mais correta, e diminui os impactos ambientais gerados na extração de argila e no descarte de resíduos de carvão na natureza.

Na produção do resíduo em olaria, um milheiro de tijolos produzidos com adição de resíduo de carvão ativado reduziria o consumo de 160kg de argila e

consumiria 160g de resíduo de carvão ativado. Para o olarista, isto indica economia de R\$ 55,00 a cada milheiro produzido na empresa.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM), 2010.

BAÇAOU, A. et al. **Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes**. Carbon, v.39, p. 425-532, 2001.

BERNARDO, E.C. et al. **Decolorization of molasses' wastewater using activated carbon prepared from cane bagasse**. Carbon, Elrusford, v. 35, n. 9, p. 1217-1221, 1997.

BOEHNHORFF, J. Active carbon adsorption. v.1: **Annual Arbor Science Publishers**. 1980.

BORGES, F.M. et.al. **Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 21 .out.2003, Ouro Preto, MG. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2003. Disponível em:<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ ENEGEP2003\\_TR0502\\_0601.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ ENEGEP2003_TR0502_0601.pdf)> Acesso em: 16/08/2021.

BRUM, S. S.; BIANCHINI, M.L.; SILVA, V.L.; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L.C.A. **Preparação e caracterização de cavão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café**. Quim. Nova. 2008.

CABRAL JR., M; MOTTA, J. F. M.; SERRA, N.; MACHADO, S.; TANNO, L. C.; SINTONI, A. e CUCHIERATTO, G. (2002). **Assessoria técnico-gerencial para implantação de um pólo cerâmico no Estado da Bahia**. São Paulo, IPT (Rel. IPT no 59 523). 99p.

CALLISTER JR, W. D; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Abordagem Integrada**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2012. 845p.

CLAUDINO, A.; MINOZZO, A. P.; **Projeto de uma Indústria de Carvão Ativado**. Trabalho Referente à Disciplina de Projetos, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 6-7, Toledo, 2000.

CONCEIÇÃO FILHO, V. M. e MOREIRA, M. D. (2001). **Depósitos de argila do Recôncavo Baiano – geologia e potencialidade econômica**. Salvador. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. CBPM, Série Arquivos Abertos, 15. 46p.

CULLITY B. D; STOCK, S. R. **Elements of x-ray diffraction**. 3.ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.

DEDAVID, B.A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura - Aplicações e preparação de amostras**. CEMM, IDEIA -PUCRS, Brasil, 2007.

DI BERNARDO, L. et.al. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estação de tratamento de água**. São Carlos: Rima, 2002. 237p.

DUTRA, R. P. S.; VARELA, M. L.; NASCIMENTO, R. M.; PASKOCIMAS U. U. Gomes, C. A.; MELO, P. T. **Ceram. Ind.** **11** (2006) 42.

FACINCANI, E. (1992). **Tecnologia cerâmica – I laterizi**. Itália, Gruppo Editoriale Faenza Editrice. Faenza. Seconda edizione. 267p.

FERNANDES, K. A. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Revista Graduação da PUC, v. 3, n. 2, 2010. Disponível em:<<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduação/article/view/7090>>. Acesso em: 21/08/2021.

FITZJOHN, W. H.; WORALL, W. E. **Trans. Brit. Ceram. Soc.** 79 (1990) 74.

FREITAS, L.C.S.; **Carvão ativado: breve histórico e estudo de sua eficiência na retenção de fármacos**. 2014.

GARCIA, E.; JUNIOR, M.C.; QUARCIONI, V.A.; CHOTOLI, F.F.; **Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico**. Cerâmica Industrial, 19 (4) Julho/Agosto, 2014.

GÊNESE, Livro I - **As Origens**, capítulo 2, versículo 7.

GESICKI, A. L. D., BOGGIAN, I P. C., SALVATTI, A. R. **Cerâmica Industrial** 7 (2002) 44.

GIL, A. C. **MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA SOCIAL**. 6. Ed. São Paulo. Atlas, 2008

GRIM, R. E.; Keller, W. D. [in] **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**, 3a. ed., vol. 6, Grayson, M., Ed.; John Wiley, Nova Iorque, 1979, p 190.

HAGER, D. G.; **Waste Water Treatment via Activated Carbon**. Calgon Corporation Pittsburgh, 1976

JACOBI, Pedro. Professor da Faculdade de Educação da USP e presidente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da USP.

JÜNTGEN, H.; **Activated Carbon as Catalyst Support: A review of New Research Results.** Fuel 65, p. 1436, 1986.

LIMA, G. S. **O uso do carvão ativado para tratamento da água cinza.** Trabalho de conclusão de curso. Cajazeiras, 2016. 35p.: il.

MARSH, Harry. (ed.) **Activated carbon compendium.** London: Elsevier, 2001.  
MEIRA, J.M.L.; **“Argilas: o que são, suas propriedades e classificações.”** Visa consultores, pg. 1- 7, 2001.

MENEZES, J.N.; VARELA, D.L.V.; VARELA, M.L.; **Avaliação da porosidade aparente e absorção de água da massa cerâmica para porcelanato em função da incorporação de resíduos de caulim.** 60º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA VERMELHA. Águas de Lindóia, SP. 2016.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S. NEVES, G. de A. Neves. FERREIRA, H. C. **Cerâmica 49** (2003) 120.

MOHAN, D. PITTMAN JR, C.U. **Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water.** Journal of Hazardous Materials. n. 137, p. 762-811, 2006.

MORAIS, D. M; SPOSTO, R. M. **Ceram. Ind. 11** (2006) 35.

MOREIRA, J.M.S.; MANHÃES, J.P.V.T.; HOLANDA, J.N.F.; **Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha.** Cerâmica 51 (2005), pg 180 – 186.

MINEROPAR. **PROJETO RIQUEZAS MINERAIS**, 2000

MULLER, C.C. **Avaliação de Utilização de Carvão Ativado em Pó na Remoção de Microcistina em Água para Abastecimento Público.** Porto Alegre 2008. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós Graduação em Ecologia. UFRGS).

NBR 15812 Alvenaria Estrutural - Blocos Cerâmicos.

NORDHAUS, W. D.; TOBIN, J. Is growth obsolete? In: \_\_\_\_\_. **Economic Research: Retrospect and Prospect.** New York: NBER, 1972. v.5: Economic Growth, p.1-80. Disponível em: <<http://www.nber.org/chapters/c7620>>

PANNIRSELVAM, Pangadai V. et.al. **Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia.** Revista Analytica, Natal, RN, n. 15, p. 56-62, fev/marc. 2005. Disponível em:

<[http://www.revistaanalytica.com.br/ed\\_anteriores/14/art04.pdf](http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/14/art04.pdf)> Acesso em 22/08/2021.

PEREIRA, Eduardo; SILVA, Isac José da; COSTA, Marienne do Rocio de Mello Maron da. **Avaliação dos mecanismos de aderência entre argamassa colante e substrato não poroso**. Ambiente Construído, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 139-149, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO).

PHELPS, G. W.; WATCHMAN, J. B. [in] **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, 5a . ed., A6, Gerhartz, W., Ed.; VCH Publishers, Nova Iorque, 1986; p 5.

PINHEIRO, R.M.; VIEIRA, C.M.F.; RODRIGUEZ, R.S.; MONTEIRO, S.N.; **Reciclagem de resíduo proveniente da produção de papel em cerâmica vermelha**. Revista Matéria, v. 13, n. 1, pp. 220 – 227, 2008.

REINOSO, R. F.; MARSH, H. **Activated carbon**. 1. ed. London: Elsevier, 2006.

REIS, Idalci Cruvinel dos. **Estudo Das Propriedades Físicas De Sistemas Ferroelétricos Com Estruturas Tipo Aurivillius**. 2015. 140 f. Tese (Doutorado) - 93 Curso de Programa de Pósgraduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2015.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. 3. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SANTOS, I. M. G.; SILVA, J. M.; TRINDADE, M. F. S.; SOLEDADE, L. E. B. S.; SOUZA, A. G.; PASKOCIMAS, C. A., E. Longo, Cerâmica 51 (2005) 144.

**Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE)**. Apostila Construção Civil. Disponível em: (2015).

SEIFFERT, Mari Elizabete Bernardini. **Gestão Ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental**. 1. ed. 3. reimpr. São Paulo: Atlas, 2010.

SILVA, D. A.; MELO, A. E. L. M. **Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto: uma revisão**. Risco. Revista de Pesquisa em arquitetura e urbanismo iau-usp. v1. 2021.

SILVA, D. DE A. **Estudo da Influência do Índice de Forma do Graúdo nas Propriedades Mecânicas do Concreto**. [s.l.] Dissertação de (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2012.

SOUSA, F, W. et al. **The use of green coconut shells as absorvents in the toxic metals**. Quimica Nova, São Paulo, v.30, n. 5, p.1153-1157, set./out. 2007.

SOUZA, G. P. SANCHEZ, R.; HOLANDA, J. N. F. **Cerâmica 48** (2002) 102.

SOUZA, G. P.; SOUSA, S. J. G.; TERRONES, L. A. H.; HOLANDA J. N. F. **Cerâmica 51** (2005) 381.

STROHER, A. P. et al. **Utilização da cerâmica de entulho na substituição de agregado graúdo do concreto**. *Cerâmica Industrial*, v. 22, n. 4, p. 34–46, 2017.

TALLINI, V.M.J.; **Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos a partir de lodo de estações de tratamento de água, micro esferas de vidro de jateamento, sais de neutralização de ácidos de baterias e areia de fundição**. 2009. 83f. Tese (Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná.

UZUKI E., **High-resolution scanning electron microscopy of immunogold-labelled cells by the use of thin plasma coating of osmium**. *Journal Of Microscopy*, [S.L.], v. 208, n. 3, p. 153-157, dez. 2002. Wiley.  
<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2818.2002.01082.x>.

VIEIRA, C.M.F.; MARGEM, J.I. I ; MONTEIRO, S.N.; **Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com lodo de ETA**. *Revista Matéria*, v. 13, n. 2, pp. 275 – 281, 2008.

VIEIRA, C.M.F; INTORNE, S.C.; ALEXANDRE, J.; ALVES, M.G.; MONTEIRO, S.N.; **Efeito da utilização da laterita nas propriedades físicas e mecânicas de cerâmica vermelha**. *Revista Matéria*, v. 12, n.3, pp. 446 – 452, 2007.

VIEIRA, C.M.F; INTORNE, S.C.; VERLINI, F.JR.; MONTEIRO, S.N.; **Cerâmica vermelha incorporada com lama fina de aciaria**. *Revista Matéria*, v. 12, n.2, pp. 269 – 275, 2007.

VIEIRA, C.M.F; MONTEIRO, S.N. **Cerâmica argilosa incorporada com resíduo oleoso proveniente do setor petrolífero**. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, pp. 217 – 222, 2006.

ZHONGHUA HU et al. **Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons**. *Carbon*, v.30, 2001, p. 877-886)