UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

Milena Gomes Talavera Gaspareto

Utilização de Resíduos de Construção Civil e Demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos

Orientador: Prof. Doutor Silvio Rainho Teixeira

Presidente Prudente
2017

Milena Gomes Talavera Gaspareto

Utilização de Resíduos de Construção Civil e Demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos

Trabalho apresentado junto ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP - Campus de Presidente Prudente, como um dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Doutor Silvio Rainho Teixeira

Presidente Prudente

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Gaspareto, Milena Gomes Talavera.
G232u Utilização de resíduos de construção civil e demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos / Milena Gomes Talavera Gaspareto. - Presidente Prudente: [s.n], 2017
52 f. : il.

Orientador: Silvio Rainho Teixeira
Trabalho de conclusão (bacharelado – Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Inclui bibliografia

1. Reciclagem. 2. RCD. 3. Argila. I. Gaspareto, Milena. II. Teixeira, Silvio Rainho. III. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. IV. Utilização de resíduos de construção civil e demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos.

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Presidente Prudente

TERMO DE APROVAÇÃO

Milena Gomes Talavera Gaspareto

"Utilização de RCD como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos"

Trabalho de graduação aprovado como um dos requisitos parciais para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Faculdade de Ciências e Tecnologia, *campus* de Presidente Prudente – SP, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Sílvio Rainho Teixeira (Orientador)

Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

Profa. Dra. Leila Maria Sotocorno e Silva

Presidente Prudente, 16 de março de 2017.

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 3229-5423

“Dedico este trabalho àquela que levarei para sempre no coração com profunda gratidão, amor e saudade: minha mãe”.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira, que me acolheu em seu grupo de pesquisa, acreditando em minha competência e dedicando seu tempo, conhecimento e paciência, tornando possível, assim a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio e bolsa concedida.

Ao pessoal do Laboratório Materiais Cerâmicos (LaMaC) da FCT UNESP, em especial, ao Gleyson, que dedicou de seu tempo para me ajudar a confeccionar os corpos de prova e realizar as análises nos materiais. Meus agradecimentos também ao Laboratório de Sedimentologia e Análise de Solos (LabSolos) e ao Técnico de Laboratório Vitor Veríssimo pelo auxílio na realização da análise textural dos materiais.

Um agradecimento ao Técnico de Laboratório Wellington Caldeira e ao coordenador, Amaro dos Santos, do Laboratório de Engenharia Civil da UNOESTE (Universidade do Oeste Paulista) pela autorização para uso e auxílio na preparação e realização dos ensaios de resistência à compressão.

Agradeço as mulheres guerreiras da minha família, que me ensinaram o poder da força e da fé perante todos os obstáculos da vida. À minha mãe, Marcia, que dedicou sua vida para cuidar e educar suas filhas com amor, carinho, honestidade e fé, plantando em nossos corações os mais belos e dignos valores; à minha avó Vera, que é meu exemplo de guerreira, alguém capaz de lutar contra o mundo e mesmo assim nunca perder o sorriso no rosto e a bondade no coração; à minha Tia Maristela, que sempre me inspirou com sua determinação, disciplina, foco, e que me deu suporte para permitir que eu conquiste meus objetivos. Por fim, à minha irmã gêmea e melhor amiga, Mariane, que está ao meu lado em todos os momentos, dividindo felicidades, tristezas, sonhos e que será sempre minha companheira de alma e coração.

A todos os docentes do curso que desempenharam com dedicação as aulas ministradas, permitindo que hoje eu esteja preparada a ser uma Engenheira Ambiental, disposta a exercer a profissão com ética, respeito e responsabilidade.

Resumo

Os Resíduos de Construção Civil e Demolição (RCD) representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos no mundo. Considerando, no Brasil, um índice médio de geração per capita de RCD de 500 kg/habitante por ano, estima-se uma geração de 260 mil toneladas por dia. Além disso, poucas cidades possuem Usinas de Reciclagem de Entulho (URE), aumentando a quantidade de resíduos dispostos inadequadamente. Desta forma, foi proposto neste trabalho a incorporação de RCD na massa cerâmica para a produção de tijolos maciços, visando apresentar uma nova opção de destinação adequada para o RCD, com consequente economia da matéria prima argilosa. Como as argilas da região apresentam alta plasticidade, a massa cerâmica necessita da adição de material não plástico (como solo arenoso) para adequar sua composição e plasticidade. A metodologia experimental utilizada baseia-se no aproveitamento do RCD como material não plástico, com composição pré-estabelecida de 50/30/20: cerâmica, argamassa e concreto. Foram caracterizadas as propriedades físicas, químicas e estruturais da argila e do RCD utilizados, por meio das análises textural, térmica, química e de difratômetria de raios X. A distribuição granulométrica do RCD foi obtida utilizando peneiras de malhas com tamanhos inferiores a 10 mm, e da argila através do método da pipeta. Para a preparação dos corpos de prova, o RCD foi triturado e misturado com a argila e água utilizando uma betoneira, para homogeneizar a mistura. Após a homogeneização, o material foi prensado utilizando uma matriz de aço e uma prensa hidráulica manual, obtendo os corpos de provas (CPs) cilíndricos (ϕ = 30 mm), com aproximadamente 60 mm de altura. Os CPs foram preparados em triplicatas para obtenção de valores médios com desvios padrão. Após o tempo de secagem (24 horas) em estufa (110°C), os CPs foram queimados, em temperaturas entre 900,1000 e 1100°C, utilizando um forno elétrico. Os CPS foram medidos utilizando uma balança analítica e pesados com um paquímetro digital, antes e após a queima. Foram realizados ensaios tecnológicos para determinação as propriedades dos corpos de prova, visando identificar a melhor composição para a obtenção de tijolos que atendam as normas técnicas. Utilizando as dimensões dos CPS medidos foram obtidos os valores de perda de massa e retração linear de queima. Em seguida foram realizados os ensaios de resistência à compressão (RM), absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA) e porosidade aparente (PA). Observou-se que todos os corpos de prova obtiveram valores dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas: (MEA < 1,7 g/cm3 (ASTM), AA < 22%, PA < 30%). Para resistência mecânica, todos os corpos de prova a 900°C, e com composição com 40%-peso de RCD apresentaram resistência à compressão (RM) superior a 4 Mpa, ou seja, tijolo maciço Classe C, sendo considerados a melhor composição e temperatura de queima para as condições deste trabalho. Portanto, estes resultados mostraram que é possível a utilização do RCD na produção de material cerâmico, proporcionando mais uma opção de aproveitamento deste resíduo como matéria prima.

Palavras chave: Reciclagem, resíduos de construção civil e demolição, argila.

Abstract

Civil construction and demolition waste (CDW) represents on average 50% of the municipal solid waste in the world. Considering, in Brazil, an average CDW per capita generation rate of 500 kg/inhabitant per year, is estimated a generation of 260 thousand tons/day. In addition, just few cities have CDW Recycling Plants, increasing the amount of improperly disposed waste. In this way, it was proposed in this work the incorporation of CDW in the ceramic mass for the production of massive bricks, in order to present a new option of suitable destination for the CDW, with consequent savings of the clay raw material. As the clays in the region have high plasticity, it requires the addition of non-plastic material (such as sandy) to bring its composition and plasticity. The experimental methodology used is based on the use of CDW as a non-plastic material, whose pre-established composition is 50/30/20: ceramics, mortar and concrete. The physical, chemical and structural properties of the clay and CDW were characterized by performing textural, thermal, chemical and X-ray diffraction test in the samples. The granulometric distribution of the CDW was obtained by using sieves of mesh size less than 10 mm and of the clay by the pipette method. For the preparation of test specimens, the CDW was ground and mixed with clay and water using a concrete mixer to homogenize the mixture. After homogenization, the material was pressed using a steel die and a manual hydraulic press, obtaining the cylindrical specimens (CPS) (ϕ = 30 mm), approximately 60 mm high. The specimens were prepared in triplicate to obtain average values with standard deviations. After drying time (24 hours) in an oven (110°C) the CPS were burned at temperatures between 900, 1000 and 1100 ° C using an electric furnace. Then, the CPS were measured using an analytical balance and weighed with a digital caliper, before and after burn. Technological tests were carried out to determine the properties of the specimens, in order to identify the best composition for obtaining massive bricks that attend the technical standards. Using the measured dimensions, the values of mass loss and linear retration were obtained. Then, compression resistance tests (RM), water absorption (AA), apparent specific mass (MEA) and porosity (PA) were performed. It was observed that all CPS obtained values within the limits established by the technical standards: (MEA <1.7 g / cm3 (ASTM), AA <22%, PA <30%). For mechanical resistance, all the CPS burned at 900 ° C, and those with composition with 40% of CDW had a compressive strength (RM) of more than 4 MPa, That is, solid brick Class C, being considered the best composition and burning temperature for the conditions of this work. Thus, it evaluated the possibility of using the CDW in the production of a new ceramic product giving another option to this waste as raw material.

Keywords: Recycle, civil construction and demolition, clay, bricks

Lista de Figuras

Figura 1. Distribuição das principais bacias sedimentares brasileiras, portadoras de depósitos de argila para uso em cerâmica. 12
Figura 2: Diagrama de Winkler 14
Figura 3: Moinho de Facas 18
Figura 4: Moinho de Martelos 19
Figura 5: Betoneira 19
Figura 6: Análise granulométrica por peneiramento 22
Figura 7: Equipamento para análise térmica SDT Q600 23
Figura 8: Difratômetro de Raios X, modelo XRD-6000 24
Figura 9: Equipamentos S2 Ranger, Versão Automática e Manual 25
Figura 10: Prensa Hidráulica Manual 25
Figura 11: Forno elétrico, modelo EDG-3000 26
Figura 12: Corpos de prova dos grupos "A" e "B" 27
Figura 13: Corpos de prova dos grupos "C" e "D" 27
Figura 14. Capeamento com enxofre líquido 29
Figura 15: Corpos de prova após capeamento 29
Figura 16: Ensaios de resistência à compressão com o equipamento 20T-UMC 30
Figura 17: Pesagem dos fragmentos dos corpos de prova secos 31
Figura 18: Fragmentos dos corpos de prova imersos em água 31
Figura 19: Pesagem dos corpos de prova submersos 32
Figura 20: Termograma (TG e DSC) da argila 36
Figura 21: Difração de Raios X das lâminas orientadas de Argila 37
Figura 22: Corpos de prova (1 a 3) antes e depois da secagem 39
Figura 23: Corpos de prova (1 à 3) após a queima à 900ºC 39
Figura 24: Corpos de prova (3 a 6) antes e depois da secagem 40
Figura 25: Corpos de prova (3 à 6) após a queima à 1000ºC 40
Figura 26: Corpos de prova (7 a 9) antes e depois da secagem 40
Figura 27: Corpos de prova (7 a 9) após a queima à 1100ºC 41
Figura 28: Resistência dos corpos de prova 43
Figura 29: Massa específica aparente dos corpos de prova 45
Figura 30: Porosidade aparente dos corpos de prova 45

Figura 31: Absorção de água dos corpos de prova 46

Lista de Tabelas

Tabela 1: Composição granulométrica ideal de argilas para produtos da indústria cerâmica vermelha 15
Tabela 2: Peneiras utilizadas para análise granulométrica do RCD 22
Tabela 3: Composição dos corpos de prova 26
Tabela 4: Distribuição granulométrica da argila 34
Tabela 5: Distribuição granulométrica do RCD 35
Tabela 6: Resultado da Difratômetria de Raios X da Argila 37
Tabela 7: Análise química quantitativa da amostra de argila 38
Tabela 8: Análise química quantitativa da amostra de RCD 38
Tabela 9: Médias da perda de massa e retração linear dos corpos de prova 42
Tabela 10: Média das resistências dos corpos de prova e desvio médio padrão 43
Tabela 11: Resultados obtidos para os corpos de provas com 40% de RCD a 900°C 47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12

2.1. Área de Estudo 12

2.2. Argilas 13

2.3 Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD) 15

2.4 Tijolos Maciços 16

3. OBJETIVOS 17

3.1. Objetivo Geral 17

3.2. Objetivos Específicos 17

4. MATERIAIS E MÉTODOS 17

4.1. Coleta dos Materiais 17

4.2. Preparação das Matérias Primas 18

4.3. Caracterizações das Matérias Primas 19

4.3.1. Análise Textural 19

4.3.2. Análise Térmica 22

4.3.3. Difratômetria de Raios X 23

4.3.4. Análise Química 24

4.4. Preparação dos Corpos de Prova 25

4.5. Ensaios Tecnológicos 27

4.5.1. Perda de Massa e Retração Linear 27

4.6. Ensaios de Resistência à Compressão 28

4.7. Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente, Absorção de Água ... 30

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 34

5.1. Caracterização dos Materiais 34

5.1.1. Análise Granulométrica 34

5.1.2. Análise Térmica 35

5.1.3. Difratômetria de Raios X 36

5.1.4. Análise Química 38

5.2. Corpos de Prova 39

5.3. Ensaios Tecnológicos 41

5.3.1. Perda de Massa e Retração Linear 41

5.3.2. Ensaios de Resistência à Compressão 42

5.3.3. Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água..... 44

6. CONCLUSÕES 47

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

1. INTRODUÇÃO

Os Resíduos de Construção Civil e de Demolição (RCD ou RCC) representam, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (JOHN, 2000), tanto no Brasil como em outros países. No Brasil, o índice médio de geração *per capita* de RCD é de 500 kg/habitante por ano, entretanto, este índice é variável e tem uma relação com o índice de desenvolvimento humano (IDH**)** (CONTRERAS, et. al., 2016).

No Brasil, considerando-se o índice médio de geração per capita de 500 kg/habitante por ano**,** estima-se uma geração na ordem de 260 mil toneladas/dia, para uma população urbana 190 milhões de pessoas (IBGE, 2010). Neste mesmo cenário, poucas cidades possuem usinas de reciclagem de entulho (URE) para tratamento e destinação do RCD, aumentando a quantidade de resíduos descartados inadequadamente e diminuindo drasticamente a vida útil nos aterros sanitários, causando problemas para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos de aproveitamento do RCD, principalmente a sua reutilização na construção civil, podendo ser uma solução adotada no seu gerenciamento, contribuindo com a diminuição dos resíduos descartados inadequadamente.

Especificamente sobre os resíduos de cerâmica vermelha, estima-se que estes correspondam, em média, a 30% do total dos RCD produzido no Brasil. (CABRAL, 2007). Além disto, o Brasil é o segundo maior produtor e consumidor mundial de placas cerâmicas (CABRAL, et. al., 2010), sendo que, o setor da construção civil é o setor que mais consome produtos cerâmicos, tais como tijolos e blocos. Deste modo, devido à redução da disponibilidade da matéria prima argilosa e a crescente preocupação com o meio ambiente, estudos na área de incorporação de resíduos aos materiais cerâmicos tem sido cada vez mais difundidos (TEIXEIRA, 2006; GALVÃO, 2013; SILVA, 2007).

Este trabalho propõe estudar uma alternativa de reutilização do RCD através da incorporação na massa cerâmica composta de argila natural, para a produção de tijolos maciços utilizados na construção civil, podendo contribuir para a economia de matéria prima argilosa, redução dos resíduos descartados e consequentemente redução dos custos no setor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Área de Estudo

A região de Presidente Prudente está localizada sobre a bacia sedimentar do Rio Paraná, formação Bauru, apresentando composição mineralógica predominantemente de quartzo, com minerais de argila, como a caulinita, feldspato e mica, e ainda é composta por arenitos feldspáticos de granulação fina e muito fina (MONIZ, 1972).

Segundo a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM do Ministério de Minas e Energia, a região da Bacia do Paraná, detém as principais reservas de argila do Brasil, totalizando 70% da extração do país, como indica a **Figura 1**.

Figura 1. Distribuição das principais bacias sedimentares brasileiras, portadoras de depósitos de argila para uso em cerâmica.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2006)

O setor cerâmico-oleiro da região compreendendo atualmente mais de noventa (90) empresas, representando 16% do setor no estado de São Paulo. Os principais produtos destas

cerâmicas são: tijolos maciços comuns, blocos (de 8 e de 6 furos), telhas, lajotas para lajes e em menor escala material artesanal (vasos, potes e filtros).

A atividade oleira na região sempre foi exercida de forma rudimentar, extrativista, alheia às técnicas e conhecimentos, tanto de prospecção, quanto de exploração mineral e produção. Do ponto de vista ambiental, a situação é ainda mais grave, utilizando lenha como combustível e estando sempre a margem dos critérios ambientais de exploração e recuperação das áreas degradadas, o que as torna inviáveis para o meio ambiente nas atuais circunstâncias.

2.2. Argilas

O material argiloso é constituído essencialmente por partículas extremamente pequenas de minerais, os argilominerais, que são formados pelos processos de intemperismo das rochas e diferenciam-se pelo tipo de estrutura e pelas substituições iônicas que podem ocorrer. Esses minerais de argila são os silicatos de alumínio ou magnésio hidratados com resíduos de outros elementos, como ferro, potássio dentre outros. Eles são responsáveis pelas características "intrínsecas" das argilas, como a plasticidade, a retração linear e a resistência mecânica. Entre os principais grupos de argilomineirais estão as micas, caulinitas, esmectitas e vermiculitas. Além dos argilominerias, a argila também possui em sua composição outros minerais (quartzo, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio) matéria orgânica e impurezas.

Assim, duas argilas podem diferir amplamente pela composição mineralógica qualitativa e quantitativa, e pelas suas demais propriedades químicas, físicas, mecânicas e tecnológicas. Dessa forma, com a caracterização da argila é possível conhecer a variabilidade de suas propriedades e definir a sua melhor aplicação.

2.2 Materiais Cerâmicos

Segundo a linguagem utilizada pelos ceramistas, existem, basicamente, dois tipos de argila ("barro"), encontrados nos depósitos ("barreiros") e usados para a preparação da massa cerâmica: a argila "gorda" (ou barro forte) e a argila "magra" (ou barro fraco). A argila gorda possui alta plasticidade, granulometria fina e composição majoritária de argilominerais,

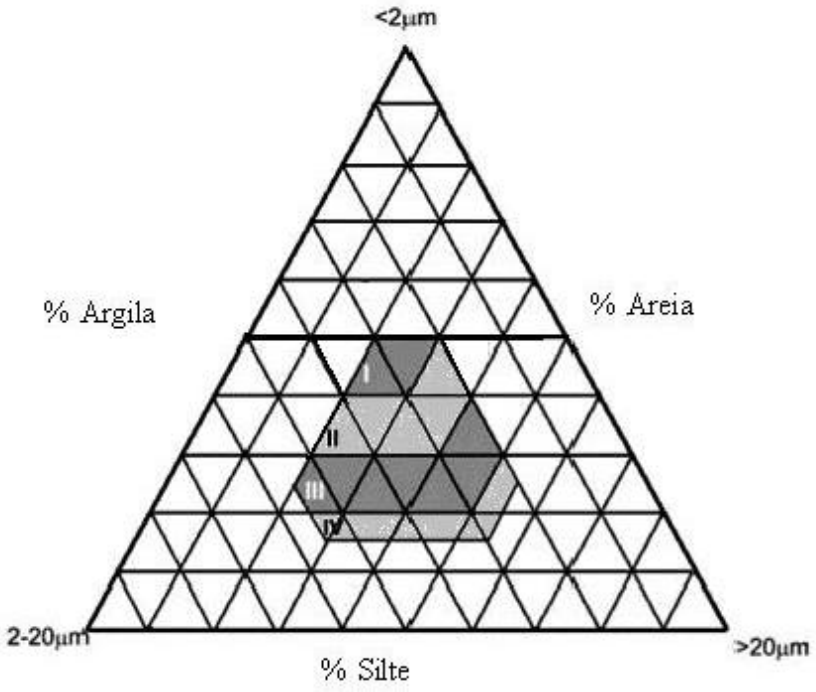
enquanto a massa magra é menos plástica, rica em silte e areia (predominantemente quartzo) e utilizada como redutor da plasticidade.

As massas cerâmicas utilizadas pela indústria cerâmica, em geral, são compostas de uma mistura de materiais não plásticos e material argiloso, uma vez que não poderiam ser constituídas somente de argilas plásticas, pois assim apresentariam grandes dificuldades no processamento, desde a conformação das peças, incluindo a secagem, até a queima.

Dessa forma, é necessário fazer uma composição granulométrica adequada para cada tipo de produto, dosando-se a distribuição dos componentes (areia, silte e argila) da massa cerâmica. Para este fim, utiliza-se o diagrama de Winkler (**Figura 2**), que mostra a faixa de composição granulométrica ideal das massas cerâmicas para cada tipo de aplicação (PRACIDELLI; MELCHIADES, 1997).

Na **Tabela 1** são apresentadas as composições granulométricas dos principais produtos, de acordo com o diagrama de Winkler.

Figura 2: Diagrama de Winkler



Fonte: Pracidelli e Melchiades (1997)

Tabela 1: Composição granulométrica ideal de argilas para produtos de cerâmica vermelha

	Composição Granulométrica(%)		
Tipos de Produtos	<2 μm Argila	2 a 20 Silte	>20 μm Areia
I. Material com dificuldade de produção	40 a 50	20 a 40	20 a 30
II. Telhas e capas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
III. Tijolos furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
IV. Tijolos maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: Pracidelli e Melchiades (1997)

O preparo de uma massa cerâmica adequada para determinado tipo de produto exige o conhecimento dos materiais que a compõem, possibilitando desenvolver uma mistura dos componentes nas proporções exatas para a obtenção de um produto cerâmico com propriedades adequadas ao seu uso.

Além disso, outro fator que deve ser considerado na produção de materiais cerâmicos é a temperatura, visto que, as reações químicas, estruturais e físicas ocorrem devido à temperatura de sinterização (queima). Segundo Teixeira (2006), o aumento da temperatura proporciona melhoria da qualidade do material, como diminuição da porosidade e absorção de água, maior densidade e maior resistência mecânica.

A queima dos materiais cerâmicos é realizada, em geral, entre as temperaturas de 50 até 1200ºC, sendo que as reações que ocorrem dependem das características e dos tipos de argilas utilizadas (SOUZA, 2008). A sinterização da argila do grupo caulinita, característica da região de Presidente Prudente, apresenta mudança de fase em temperaturas próximas a 500°C, decomposição deste argilomineral, e superiores a 900ºC, com aparecimento da fase mulita (TEIXEIRA, 2006).

2.3 Resíduo de Construção Civil e Demolição (RCD)

Os Resíduos de Construção Civil, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) são: “os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de

obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis".

Em geral, os resíduos de construção são constituídos por restos de argamassa e concreto, materiais cerâmicos, metais, plásticos, madeiras, aço e vidros. Os três materiais podem ser transformados em agregados para uso, por exemplo, em matrizes de solo-cimento, e a grande maioria dos outros resíduos pode ser separada do RCD e reciclada.

Contudo, no Brasil, estima-se que argamassa, o concreto e a cerâmica vermelha correspondem, juntos, mais de 60% do total do RCD gerado, sendo que, os resíduos de cerâmica vermelha correspondem, em média, a 30% do total (CABRAL, 2007). Desta forma, foi determinada a composição da amostra de RCD a ser utilizadas neste trabalho com 50% de cerâmica, 30% de argamassa e 20% de concreto, a fim de representar de forma mais fiel possível a composição dos resíduos descartados no país, levando em considerando os materiais com propriedades adequadas para o uso na produção de tijolos cerâmicos.

Pela Resolução CONAMA Nº 307/2002, o RCD é classificado em quatro classes, a saber: Classe A (RCD recicláveis como os agregados); B (RCD recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); C (RCD sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento como o gesso) e D (RCD perigosos como tintas, solventes, óleos, fibrocimentos com amianto, entre outros).

2.4. Tijolos Maciços

Os tijolos ou blocos que compõem a alvenaria podem ser constituídos de diferentes materiais, sendo mais utilizados os cerâmicos ou de concreto. Os tijolos maciços de cerâmica são blocos de barro comum, moldados com arestas vivas e retilíneas, obtidos pela queima da argila. Devem ter as características dentro dos padrões determinados pelas Normas Técnicas – ABNT, como possuir resistência à compressão adequada; durabilidade frente aos agentes agressivos (umidade, variação de temperatura e ataque por agentes químicos); dimensões uniformes e resistir ao fogo (NBR 7170, 1983).

Segundo a NBR 7170 (1983) tijolo maciço cerâmico é definido como um componente de alvenaria em forma de paralelepípedo retângulo que possui todas as faces planas e preenchidas de material. As dimensões nominais dos tijolos podem ser de (19x9x57)cm e

(19x9x90)cm. Durante o processo de fabricação o material é queimado em temperaturas entre cerca de 650ºC a 900ºC. No tocante à resistência à compressão, a norma classifica os tijolos maciços em A, B e C, cujos valores mínimos devem ser de 1,5 MPa, 2,5 MPa e 4,0 MPa, respectivamente, não sendo apresentados, neste caso, critérios de aceitação quanto à absorção de água.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral preparar uma massa cerâmica com RCD e argila, visando sua utilização na produção de tijolos maciços.

3.2. Objetivos Específicos

Caracterizar as propriedades físicas, químicas, e estruturais da argila e do RCD utilizados;

Determinar as propriedades dos corpos de provas com diferentes combinações de argila e resíduo;

Determinar da melhor composição dos corpos de prova para obtenção de tijolos que atendam as normas técnicas;

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Coleta dos Materiais

As amostras cerâmicas foram coletadas no pátio da antiga Cerâmica Romana de Presidente Epitácio, provenientes de uma reserva que resultou da inundação das margens do

Rio Paraná, ocasionada pela construção da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Usina Hidrelétrica de Porto Primavera), pela Companhia Energética de São Paulo (CESP).

A coleta do resíduo foi realizada nas caçambas e obras dentro do município de Presidente Prudente. Em decorrência da grande diversidade de materiais, em termos qualitativos e quantitativos, encontrados no entulho, a amostragem foi feita de modo seletivo, levando-se em conta os materiais mais representativos utilizados nas construções e proposto no trabalho: cerâmica, argamassa e concreto.

4.2. Preparação das Matérias Primas

Após a coleta, a argila foi mantida em estufa, a 100ºC durante 24 horas, para a retirada da umidade. Em seguida, utilizou-se um Moinho de facas **(Figura 3)** para triturar o material (peneira com abertura ϕ = 0,6 mm).

Figura 3: Moinho de Facas



Fonte: Autora (2016)

Para o RCD, cada material foi triturado separadamente utilizando-se um moinho de martelos (peneira com abertura deϕ = 20 mm), **Figura 4.** Em seguida, os materiais foram misturados na composição pré-estabelecida de 50% de cerâmica, 30% de argamassa e 20% de concreto (50/30/20) utilizando uma betoneira **(Figura 5)** para homogeneizar a mistura.

Figura 4: Moinho de Martelos



Fonte: Autora (2016)

Figura 5: Betoneira



Fonte: Autora (2016)

4.3. Caracterizações das Matérias Primas

4.3.1. Análise Textural

Determinar a distribuição granulométrica (concentração de cada fração) das amostras é essencial para interpretar o comportamento dos corpos de prova durante a preparação e após a

queima, uma vez que a plasticidade da argila está associada à sua textura e está diretamente relacionada à concentração de argilominerais.

A análise textural da argila foi realizada no Laboratório de solos da FCT UNESP, pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1979). O procedimento ocorreu conforme o roteiro do método descrito a seguir.

Primeiramente realizou-se o preparo das amostras em triplicatas, com o objetivo de minimizar possíveis erros. Foram identificados seis erlenmeyers (três para cada amostra). Em cada um dos três primeiros erlenmeyers foram colocados 10 gramas da argila seca, destorroada e peneirada (peneira de ϕ = 2 mm), e pesados em uma balança semi analítica. Para a segunda amostra o procedimento foi o mesmo. Para cada um desses erlenmeyers foram adicionadas 10 ml de uma amostra já preparada de hidróxido de sódio (NaOH – 1N) e 20 ml de água destilada.

Após esse procedimento, os erlenmeyers foram fixados na mesa vibratória e submetidos a 4 horas de agitação. Esse procedimento auxilia o processo de dispersão da amostra de argila, individualizando as partículas. Na sequência, foi realizada a separação das frações. Acoplou-se uma peneira de malha (ϕ = 0,053mm) a um funil, e este a uma proveta de 1.000 ml. O material foi lavado com água destilada até que os erlenmeyers estivessem limpos e a água que atravessasse a peneira estivesse transparente. Cada proveta teve seu volume acrescido com água destilada até a marca de 1.000 ml.

A areia que ficou retida na peneira foi transferida para placas petri de tara conhecida, previamente pesadas e identificadas, e foram dispostas para secar em temperatura de 105^{o} C por 24 horas. As provetas, contendo a solução de silte e argila, foram colocadas em um tanque com água para que a temperatura fosse mantida uniforme.

Dado o tempo de 24 horas, as placas petri foram pesadas novamente e os resultados foram anotados. O passo seguinte foi medir a temperatura de uma das provetas para determinar a temperatura da solução. Assim iniciou-se o processo de pipetagem. Foram utilizados seis béqueres, pesados e identificados, aos quais foram adicionadas alíquotas de 5 ml de solução coletadas a uma profundidade de 5 cm. Esses béqueres foram dispostos em uma estufa por 24 horas, a uma temperatura de 110^{o} C. Após o tempo de secagem, foi realizada novamente a pesagem desses béqueres.

Os cálculos para determinar as referidas porcentagens foram realizados utilizando as seguintes equações:

Para a porcentagem de areia (**Pa**):

$$Pa\ (\%) = Pppf - Ppi$$

Onde:

Pppf (Peso da Placa de Petri final) e **Pppi** (Peso da placa de Petri inicial).

A massa de areia **(Ma)** em gramas foi calculada por uma simples regra de três.

Para a fração de argila (**Pag**), em gramas:

$$Pag\ (g) = (Pbf - Pbi) * 2000$$

Sendo:

Pbf (peso do béquer final) e **Pbi** (peso do béquer inicial)

Para o cálculo da fração de silte (**Ps**), em gramas, foi utilizada a equação:

$$Ps\ (g) = (Ma + Pa) - 100\%$$

A determinação da granulometria do RCD também foi realizada no Laboratório de solos através do método de peneiramento **(Figura 6)**, utilizando simultaneamente peneiras organizadas pelo tamanho dos poros de maneira decrescente (**Tabela 2**). Após o peneiramento, foram pesadas as massas retidas em cada peneira e assim determinou-se a porcentagem do material retido em cada intervalo de granulometria.

Figura 6: Análise granulométrica por peneiramento



Fonte: Autora (2016)

Tabela 2: Peneiras utilizadas para análise granulométrica do RCD

MESH	POROS (mm)
3/8	5,66
12	2
32	0,5
150	0,1
270	0,053

Fonte: Autora (2016)

4.3.2. Análise Térmica

As amostras de argila foram submetidas a ensaios de análise térmica (diferencial e calorimétrica), que mostra as reações que ocorrem (exo ou endotérmicas), e termogravimétrica que mostra a variação da massa da amostra durante seu aquecimento.

A análise foi realizada no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LaMaC) da FCT UNESP, pelo equipamento da marca TA Instruments, modelo SDT Q600 (**Figura 7**). Foi pesada aproximadamente 15mg da amostra de argila e colocada em um cadinho de cerâmica.

Em seguida, para realizar o tratamento térmico a amostra foi submetida a uma velocidade de aquecimento de 15 ^{o}C/min, de 40 até 1200^{o} C, em fluxo de ar (100mL/min).

Figura 7: Equipamento para análise térmica SDT Q600

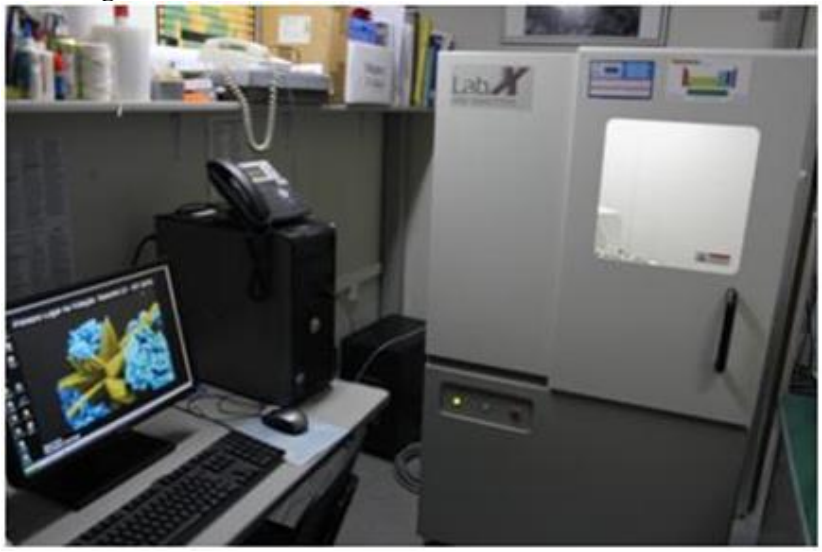


Fonte: Autora (2016)

4.3.3. Difratômetria de Raios X

Para a determinação dos minerais presentes na amostra de argila, foi realizado o ensaio de Difração de Raios X (**Figura 8**) do Laboratório LaMaC da UNESP/FCT utilizando um Difratômetro de Raios X (modelo XRD - 6000, marca SHIMADZU). Foram analisadas em lâminas orientadas, utilizando parte da solução das amostras pipetadas (método da pipeta).

Figura 8: Difratômetro de Raios X, modelo XRD-6000



Fonte: Autora (2016)

4.3.4. Análise Química

Para complementar os dados obtidos por difração de raios-x, foi realizada a análise química que permite determinar a composição química (Al, Si, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti e perda ao fogo) das amostras de argila. O RCD também foi submetido a análise química, utilizando um equipamento de Fluorescência de Raios-X, modelo EDXRF S2 RANGER LE, marca Bruker (**Figura 9**).

Para a análise quantitativa o método utilizado foi o GEO-QUANT M, da Bruker, com equipamento pré-calibrado para análise dos 11 elementos principais em amostras geológicas e minerais.

Figura 9: Equipamentos S2 Ranger, Versão Automática e Manual



Fonte: www.bruker.com

4.4. Preparação dos Corpos de Prova

Primeiramente, foram estabelecidas as composições dos corpos de prova com porcentagens de 0, 60, 50 e 40%-peso de RCD. Dessa forma, os materiais foram misturados nas proporções estabelecidas, com a adição de 12 mL de água. Após a mistura, o material foi guardado e manipulado dentro de um saco plástico lacrado, durante 24 horas, para homogeneizar a umidade. Em seguida, o material foi prensado utilizando uma matriz de aço e uma prensa hidráulica manual da marca Carlsons (**Figura 10**), para obtenção dos corpos de provas.

Figura 10: Prensa Hidráulica Manual



Fonte: Autora (2016)

Foram preparados 9 corpos de prova, para cada uma das quatro composições (**Tabela 3**), uma vez que deveriam ser queimados em triplicatas em cada uma das três temperaturas, totalizando 36 corpos de prova.

Tabela 3: Composição dos corpos de prova

	A	**B**	**C**	**D**
RCD (g)	0	60	50	40
ARGILA (g)	100	40	50	60
ÁGUA (mL)	12	12	12	12

Fonte: Autora (2016)

Os CPs foram então medidos utilizando um paquímetro digital, pesados em uma balança analítica, colocados para secar em estufa em 100ºC durante 24 horas, e então esfriados até a temperatura ambiente dentro de um dessecador. Em seguida, foram queimados no forno elétrico (marca EDG - 3000) **(Figura 11)**, três corpos (triplicatas) de provas para cada composição, em cada temperaturas de sinterização (900º, 1000º e 1100ºC), com uma taxa de aquecimento de 15ºC/min.

Figura 11: Forno elétrico, modelo EDG-3000



Fonte: Autora (2016)

Após a queima, as amostras foram deixadas dentro do forno desligado, até a temperatura ambiente. Os CPs foram novamente medidos e pesados, para determinação de perda de massa e retração linear de queima. As **Figuras 12 e 13** mostram os CPS antes da secagem em estufa.

Figura 12: Corpos de prova dos grupos “A” e “B”



Fonte: Autora (2016)

Figura 13: Corpos de prova dos grupos “C” e “D”



Fonte: Autora (2016)

4.5. Ensaios Tecnológicos

4.5.1. Perda de Massa e Retração Linear

Com as medidas de dimensões e massa dos corpos de prova, antes e após a secagem e queima dos corpos de prova, foram realizadas as análises de perda de massa e retração linear.

A perda de massa ao fogo (**PF**) consiste na determinação da diminuição percentual da massa dos corpos de prova antes e após a queima e foi calculada utilizando a equação a seguir:

$$PF\ (\%) = \left(\frac{Ms - Mq}{Ms}\right) * 100$$

Onde:

Ms= Massa após secagem na estufa (g)

Mq = Massa após a queima (g)

A retração linear de queima (**RL)** é a variação percentual entre as dimensões lineares do corpo de prova, como mostra a equação:

$$RL\ (\%) = \left(\frac{Ls - Lq}{Ls}\right) * 100$$

Onde:

Ls = Comprimento do corpo de prova após secagem (mm)

Lq = Comprimento do corpo de prova após a queima (mm)

4.6. Ensaios de Resistência à Compressão

Devido aos corpos de prova não possuírem superfícies totalmente lisas, primeiramente foi necessário realizar o nivelamento das superfícies (capeamento), pois o ensaio de resistência à compressão exige que a força axial seja distribuída de modo uniforme nos CPS, em toda sua seção transversal. Como os corpos de provas são menores (30 mm) que o usualmente utilizado no laboratório, foi montado um suporte para que o capeamento seja realizado com as extremidades paralelas.

Para a realização do capeamento **(Figuras 14 e 15)**, o enxofre foi fundido em uma capela e colocado em um suporte untado com óleo diesel, para que o corpo de prova fosse capeado.

Figura 14. Capeamento com enxofre líquido



Fonte: Autora (2016)

Figura 15: Corpos de prova após capeamento



Fonte: Autora (2016)

Em seguida, foram realizados ensaios de resistência à compressão utilizando a máquina de ensaios marca UMC modelo 20T (**Figura 16**) do laboratório de Engenharia Civil da UNOESTE (Universidade do Oeste Paulista).

Figura 16: Ensaios de resistência à compressão com o equipamento 20T-UMC



Fonte: Autora (2016)

4.7. Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente, Absorção de Água

Após o ensaio de resistência, pesaram-se os fragmentos dos corpos de prova (**Figura 17**). Em seguida, utilizou-se o método de Arquimedes para a determinação da absorção de água (**AA**), massa específica aparente (**MEA**) e porosidade aparente (**PA**).

Primeiramente, pedaços dos corpos de prova foram secos em estufa, durante 24 horas a 100°C, e pesados **(M)** utilizando uma balança analítica. Na segunda etapa, os pedaços foram mantidos imersos em água destilada em ebulição por 2 horas (**Figura 18**) e em seguida foram deixados para resfriar por 22 horas, completando um total de 24 horas de saturação. Após esse período, os corpos de prova foram "enxugados" com um pano úmido e pesados **(mu)**, utilizando a balança analítica. Finalmente, os pedaços foram pesados imersos num Becker de vidro com água **(Figura 19)**, para a obtenção do valor da massa imersa **(mi)**.

Figura 17: Pesagem dos fragmentos dos corpos de prova secos



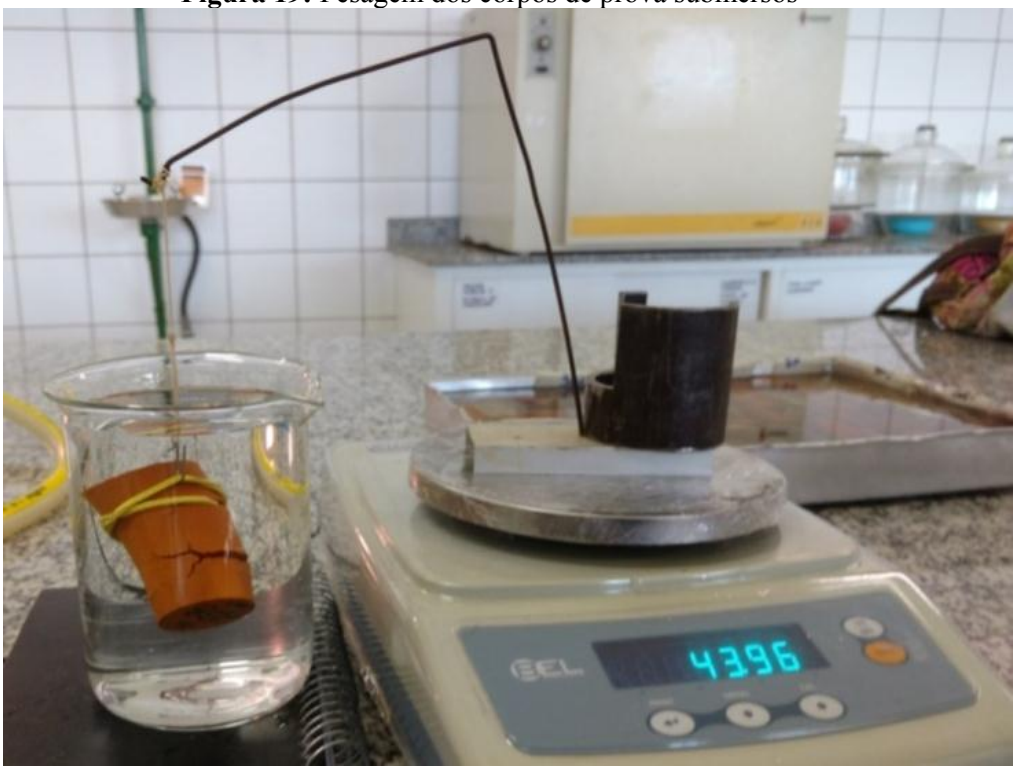
Fonte: Autora (2016)

Figura 18: Fragmentos dos corpos de prova imersos em água



Fonte: Autora (2016)

Figura 19: Pesagem dos corpos de prova submersos



Fonte: Autora (2016)

A massa específica aparente (**MEA**) utiliza o volume aparente, o qual inclui os espaços vazios contidos no material, e a massa dos corpos de prova após a secagem em estufa. Deste modo, é dada por:

$$\boldsymbol{MEA}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{M}}{\boldsymbol{VA}}$$

Onde:

M é a massa da amostra seca em estufa (g)

VA é o volume aparente da amostra (cm^3)

Para a água (densidade de $1 g/cm^3$) a diferença ($m_u - m_i$) é o volume aparente em cm^3, pois, como o princípio de Arquimedes refere-se ao empuxo, tem-se:

$$\boldsymbol{E = \mu_{liq.}\ x\ V_{liq.\ deslocado}\ x\ g}$$

Logo,

$$V_{liq.\ deslocado} = \frac{E}{(\mu\ liq \times g)} V_{liq.}$$

$$V_{liq.\ deslocado} = \frac{(Pu - Pi)}{(\mu liq \times g)}$$

Onde: $Pu = mu \times g$ e $Pi = mi \times g$

$$V_{liq.\ deslocado} = \frac{(mu - mi) \times g}{(\mu liq.x\ g)}$$

Como $\mu_{liq.} = 1 g/cm^3$, tem-se:

$$V_{liq.\ deslocado} = (m_u - m_i)$$

Desta forma,

$$MEA\ (\%) = \frac{M}{(mu - mi)}$$

Onde:

M é a massa seca em estufa (g)

mu é a massa úmida (g)

mi é a massa imersa (g)

A absorção de água foi determinada pelo quociente entre a massa do corpo de prova úmido (**mu**), saturado de água e sem excesso superficial, e a massa dele seco (**ms**) em estufa a 110ºC, por 24 horas.

$$AA\ (\%) = \frac{(mu - ms)}{ms} \times 100$$

A porosidade aparente consiste no percentual volumétrico de porosidade aberta existente nos corpos de prova e é dada pela razão entre o volume de poros abertos, ou seja, a massa úmida menos a massa seca (**mu – ms)** dividida pelo volume aparente.

$$PA\ (\%) = \frac{(mu - ms)}{(mu - mi)} \times 100$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização dos Materiais

5.1.1. Análise Granulométrica

Os resultados para o ensaio granulométrico (Método da Pipeta) das amostras de argila apresentam valores em porcentagem, de acordo com a **Tabela 4**.

Tabela 4: Distribuição granulométrica da argila

	AREIA	**ARGILA**	**SILTE**
%	24,47	51,60	23,93
g/kg	244,68	516,00	239,32

Fonte: Autora (2016)

Ao analisar os resultados é possível observar que a amostra apresentou um percentual elevado para a fração de argila. Isso mostra que se trata de um material muito argiloso, com elevada plasticidade. Utilizando o Diagrama de Winkler (**Figura 2** e **Tabela 1)** é possível determinar os principais produtos a serem produzidos com esse material argiloso, que são materiais de qualidade com dificuldade de produção.

Dessa forma, devido à alta concentração de argila, não é possível a produção de tijolos apenas com o material. Logo, para o preparo de uma massa cerâmica é recomendado misturar esse material a outro que seja menos plástico, para melhorar o rendimento da produção e a trabalhabilidade com a matéria prima.

Os resultados da análise granulométrica do RCD **(Tabela 5)** mostram que a maior parte dos grãos possui diâmetro mediano (0,1 mm $<\phi<$ 2 mm) enquanto os mais finos ($\phi<$ 0,053) e os mais grossos ($\phi>$ 5,66) estão presentes em menor quantidade.

Tabela 5: Distribuição granulométrica do RCD

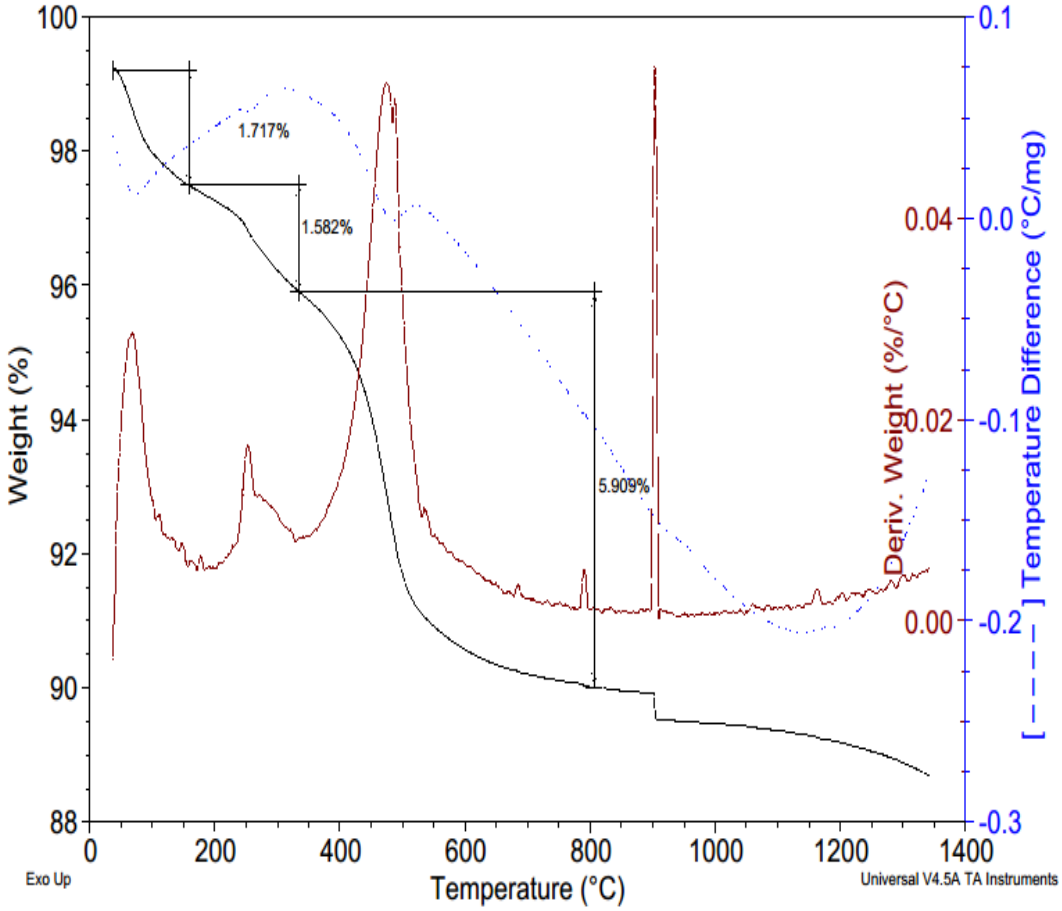
TAMANHO DOS GRÃOS (mm)	PESO DOS GRÃOS (g)	PORCENTAGENS (%)
>5,66	13,50	1,37
2 < x < 5,66	215,34	21,94
0,5 < x < 2	310,57	31,65
0,1 < x < 0,5	363,17	37,02
0,053 < x < 0,1	49,27	5,02
<0,053	37,21	3,00
Total pesado	991,62	-
Total final	982,06	100
Perda de material	10,56	0,25

Fonte: Autora (2016)

5.1.2. Análise Térmica

O termograma (TG) da argila de Presidente Epitácio **(Figura 20)**, mostra que próximo à 100ºC ocorre uma reação endotérmica, devido à perda de umidade. Entre 250 e 350°C ocorre novamente um pico endotérmico, com perda de massa, que está associada à perda das hidroxilas pelos hidróxidos de ferro e alumínio e também queima da matéria orgânica. Próximo de 500°C ocorre a maior perda de massa, associada à dissociação da caulinita, principal argilomineral nos solos da região. A partir de 900°C ocorreu um problema no equipamento, provavelmente uma batida ou vibração que alterou a medida da termo-balança (TG).

Figura 20: Termograma (TG e DSC) da argila



Fonte: Autora (2016)

5.1.3. Difratômetria de Raios X

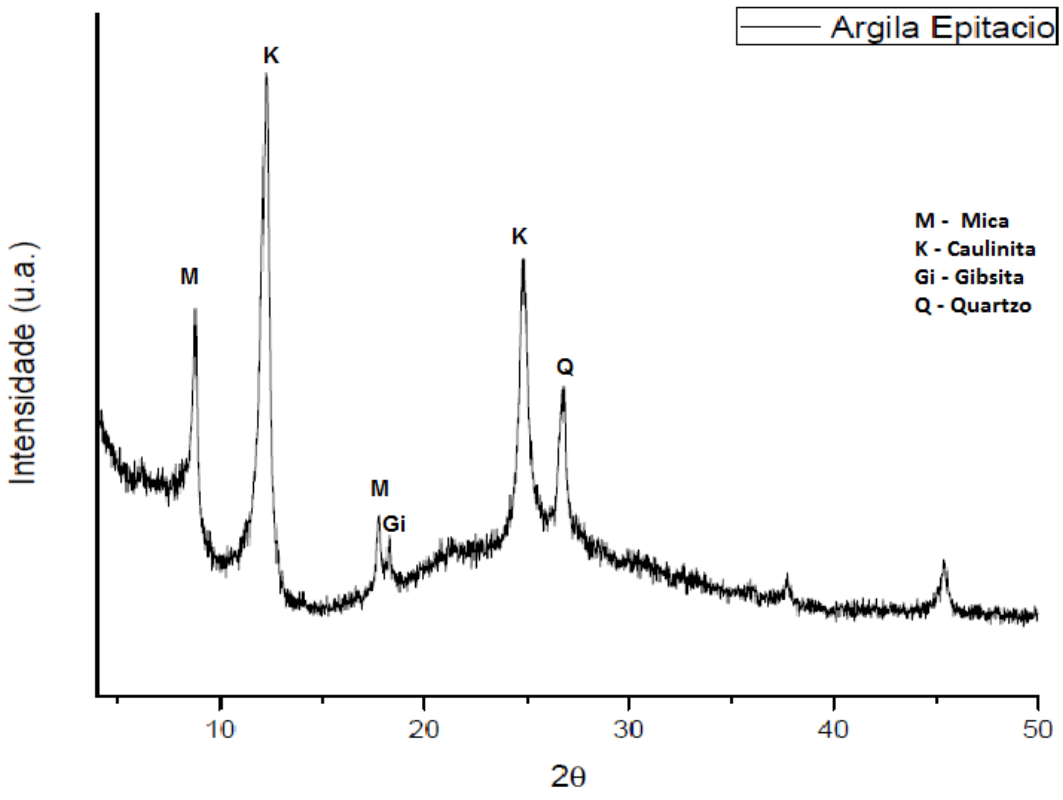
O ensaio de Difratômetria das lâminas orientadas possibilitou a identificação das principais fases presentes na amostra estudada. Os resultados são apresentados na **Tabela 6** e na **Figura 21**.

Tabela 6: Resultado da Difratômetria de Raios X da Argila

2Teta	d (nm)	Intensidade (cps)
6.228	14.1797	42
9.797	10.0432	408
12.287	7.1977	759
17.755	4.9913	137
18.361	4.8280	27
24.866	3.5777	391
26.769	3.3276	315
35.931	2.4973	22
35.743	2.3815	33
45.424	1.9950	110

Fonte: Autora (2016)

Figura 21: Difração de Raios X das lâminas orientadas de Argila



Fonte: Autora (2016)

Utilizando o Difratograma de RX das lâminas orientadas, podem ser identificadas as seguintes fases: os picos de primeira e segunda ordem da mica (próximos de 8 e 17°) e da caulinita (próximos de 12 e 24°); o pico em 18° associado ao hidróxido de alumínio (gibbsita), e ao lado do pico da caulinita o pico de quartzo (26°). Estes resultados confirmam parte das observações feitas nos resultados de análise térmica e estão de acordo com estudos anteriores das argilas da região (TEIXEIRA, 2006).

5.1.4. Análise Química

Os resultados obtidos através das análises químicas, por fluorescência de raios-x, das amostras de argila e RCD são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 7: Análise química quantitativa da amostra de argila

Argila	**Na_2O**	**MgO**	**AL_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Mn_2O_3**	**Fe_2O_3**
Média	0,13	0,74	18,20	61,1	0,09	0,05	1,29	0,22	1,55	0,06	6,47
Desvio Padrão	0,03	0,01	0,03	0,04	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01

Fonte: Autora (2016)

Tabela 8: Análise química quantitativa da amostra de RCD

RCD	**Na_2O**	**MgO**	**AL_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Mn_2O_3**	**Fe_2O_3**
Média	0,38	1,68	9,76	75,5	0,04	0,17	0,99	6,10	1,11	0,05	4,18
Desvio Padrão	0,03	0,01	0,03	0,06	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01

Fonte: Autora (2016)

Ao analisar os dados presentes nas **Tabelas 7 e 8**, é possível identificar o óxido de silício (sílica) e alumínio como sendo os componentes em maior abundância em ambas as amostras, como era esperado. Na argila predomina a caulinita e mica, silicatos de alumínio, e no RCD a argamassa também tem alta concentração de areia (sílica), além do material cerâmico formado a partir das argilas. A maior concentração de ferro está associada à cor vermelha das argilas e material cerâmico (cerâmica vermelha). No RCD a maior concentração de cálcio está associada à presença da cal nas argamassas.

5.2. Corpos de Prova

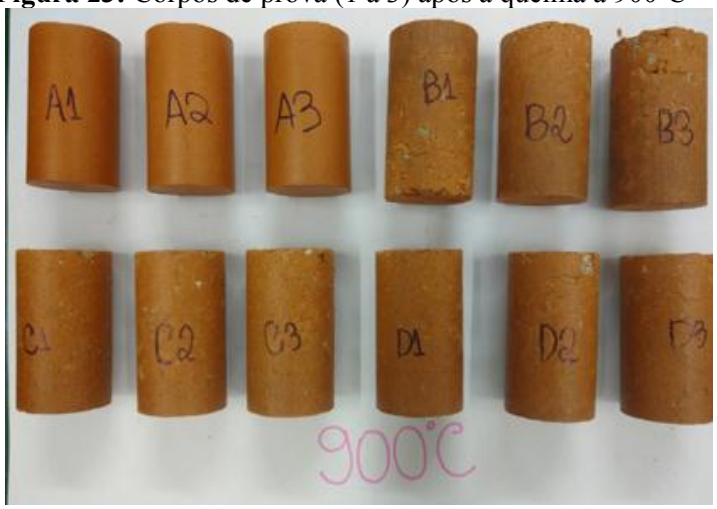
As **figuras 22 a 27** mostram os corpos de prova antes e após a secagem e após a queima.

Figura 22: Corpos de prova (1 a 3) antes e depois da secagem



Fonte: Autora (2016)

Figura 23: Corpos de prova (1 à 3) após a queima à 900ºC



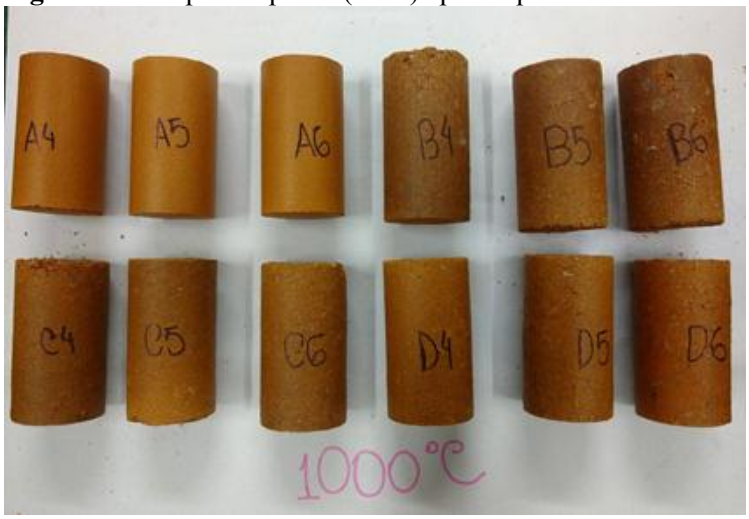
Fonte: Autora (2016)

Figura 24: Corpos de prova (3 a 6) antes e depois da secagem



Fonte: Autora (2016)

Figura 25: Corpos de prova (3 à 6) após a queima à 1000ºC



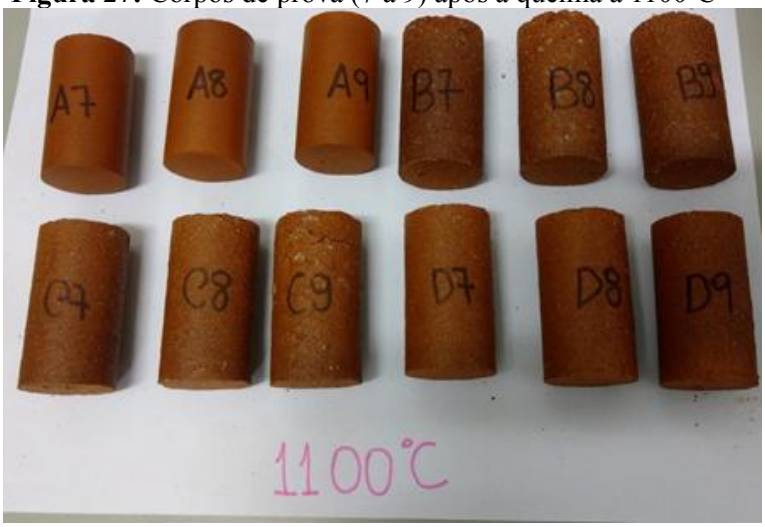
Fonte: Autora (2016)

Figura 26: Corpos de prova (7 a 9) antes e depois da secagem



Fonte: Autora (2016)

Figura 27: Corpos de prova (7 a 9) após a queima à 1100ºC



Fonte: Autora (2016)

Observam-se nas imagens extremidades irregulares dos corpos de prova, isso se dá devido a distorções nas fotografias, uma vez que as superfícies dos corpos de prova são planas e paralelas.

5.3. Ensaios Tecnológicos

5.3.1. Perda de Massa e Retração Linear

A **Tabela 9** mostra os resultados médios (triplicatas) da perda de massa e retração linear, em cada temperatura.

Tabela 9: Médias da perda de massa e retração linear dos corpos de prova

CP'S	Perda de massa (%)	Retração linear (%)
A (900°)	8,59	1,82
A (1000°)	8,48	2,58
A (1100º)	8,70	3,72
B (900°)	5,78	0,00
B (1000°)	5,91	-0,32
B (1100°)	6,15	0,10
C (900°)	6,23	0,00
C (1000°)	6,31	0,16
C (1100°)	6,47	0,58
D (900°)	6,78	0,02
D (1000°)	6,76	-0,05
D (1100°)	6,98	0,70

Fonte: Autora (2016)

Pode ser observado que a perda de massa ao fogo sofre um pequeno aumento com a temperatura, acima de 900°C, em todas as amostras. Ou seja, a perda de massa ao fogo aumenta com o aumento da temperatura, até aproximadamente 900°C. Este resultado já era esperado tendo em vista que, as principais reações com variação na massa destes materiais ocorrem abaixo desta temperatura.

A retração linear sofreu também um aumento com a temperatura para as amostras de argila pura, isso é explicado devido a melhor sinterização das peças cerâmicas em temperaturas maiores. Entretanto, nas amostras com a presença do RCD a retração linear é bem menor, além do que alguns corpos de provas, queimados a 1000°C, sofreram dilatação (RL negativa). Isso pode ser explicado, pois, a adição de chamote (resíduo cerâmico moído), na massa cerâmica, altera as propriedades dos materiais cerâmicos, principalmente a retração linear (GOUVEIA E SPOSTO, 2009).

5.3.2. Ensaios de Resistência à Compressão

A **Tabela 10** e a **figura 28** mostram as médias e o desvio padrão dos resultados dos ensaios de compressão, para cada composição dos corpos de prova e em cada temperatura de queima.

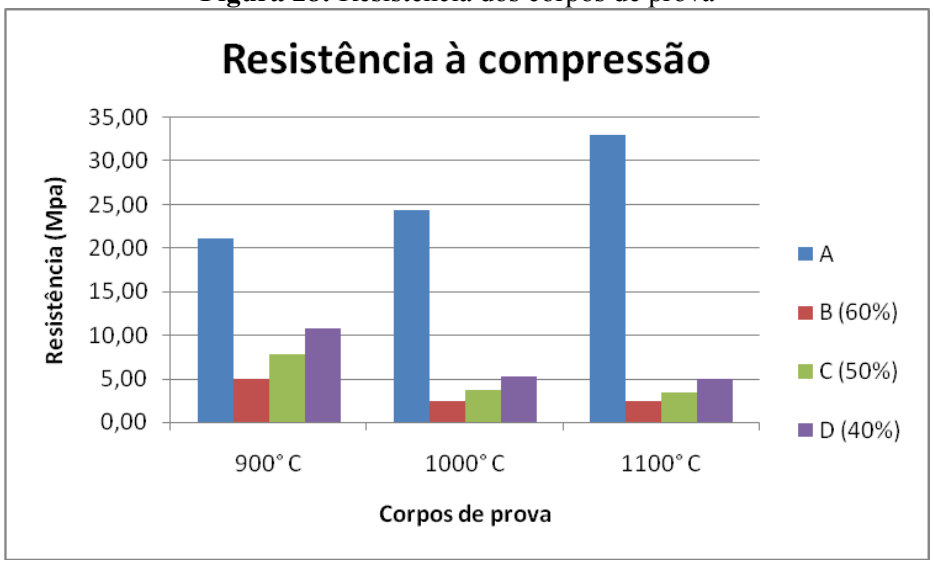
Tabela 10: Média das resistências dos corpos de prova e desvio médio padrão

CP'S	Tmax (Mpa)	Desvio Padrão
A (900°)	21,18	1,21
A (1000°)	24,34	0,61
A (1100º)	32,96	1,01
B (900°)	4,91	0,25
B (1000°)	2,41	0,35
B (1100°)	2,48	0,12
C (900°)	7,85	0,48
C (1000°)	3,75	0,08
C (1100°)	3,42	0,39
D (900°)	10,78	0,54
D (1000°)	5,31	0,48
D (1100°)	4,89	0,11

OBS: A (0%), B (60%), C (50%) e D (40%), em peso de RCD.

Fonte: Autora (2016)

Figura 28: Resistência dos corpos de prova



Fonte: Autora (2016)

Segundo a **NBR 7170 (1983),** "No tocante à resistência à compressão, a norma classifica os tijolos maciços em A, B e C, cujos valores mínimos devem ser de 1,5 MPa, 2,5 MPa e 4,0 Mpa", respectivamente.

Como era esperado, quanto maior a temperatura de queima, maior é a resistência mecânica (RM) para os corpos de prova com argila pura. No que diz respeito à composição dos corpos de prova, quanto maior a concentração de RCD menor a RM, para as três temperaturas. Porém, com relação à temperatura, para os CPS com RCD o resultado foi o oposto, isto é, quanto maior a temperatura de queima menor foi a RM.

Acima de 900°C é esperada a formação de mulita, que é a cristalização da metacaulinita, formada próximo de 500°C (TEIXEIRA, 2006). Porém, os dados de análise térmica para a argila (**Figura 26**) mostram que não ocorreram reações acima de 900°C. A introdução do RCD, devido a presença de mais quartzo e compostos de cálcio, pode ter sido responsável pelo aumento do volume de microtrincas, que fragilizam e alteram o comportamento do material.

Como o RCD utilizado na massa cerâmica é uma mistura cerâmica, concreto e argamassa, os resultados do ensaio de resistência à compressão destes corpos de prova são inferiores aos obtidos com argila pura. Contudo, todos os corpos de prova queimados na temperatura de 900°C deram valor acima do mínimo de tensão para a Classe C de tijolos maciços (4Mpa), de acordo com a **NBR 7170**. Também, os CPs com 40% de RCD, queimados nas três temperaturas resultaram em valores de RM superiores limite da Classe C.

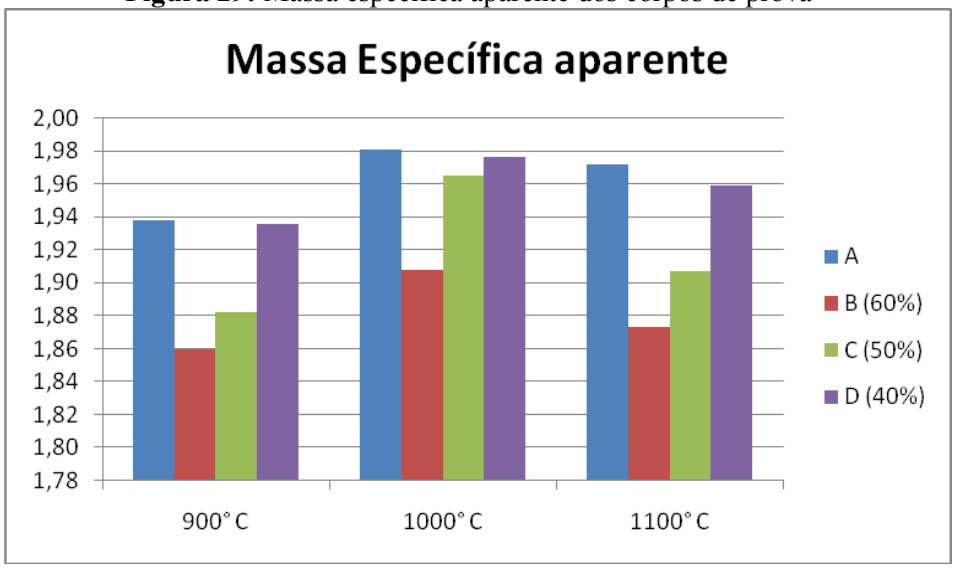
Pode ser concluído que na temperatura de 900°C, que é próxima da temperatura atingida nos fornos à lenha, todas as composições apresentam resistência à compressão (**RM**) superior a 4 MPa, ou seja, tijolo maciço Classe C. Também, a composição com 40% de RCD apresenta esta resistência (> 4 MPa) para todas as temperaturas de queima, ou seja, é a composição mais indicada para a produção de tijolos maciços. Portanto, para a produção da massa cerâmica, esta composição e temperatura de queima resultarão em economia de energia e de matéria prima (argila), além de reaproveitar o RCD evitando seu descarte no meio ambiente.

5.3.3. Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água

Como estes três resultados são obtidos dos mesmos dados, existe uma correlação entre eles que permite sua avaliação conjunta. À medida que massa específica aparente (**MEA)** aumenta, a porosidade aparente (**PA)** e absorção de água (**AA)** diminuem. Isso ocorre, pois, durante a sinterização a porosidade dos corpos de prova diminui, aumentando assim a sua massa específica e diminuindo a absorção de água.

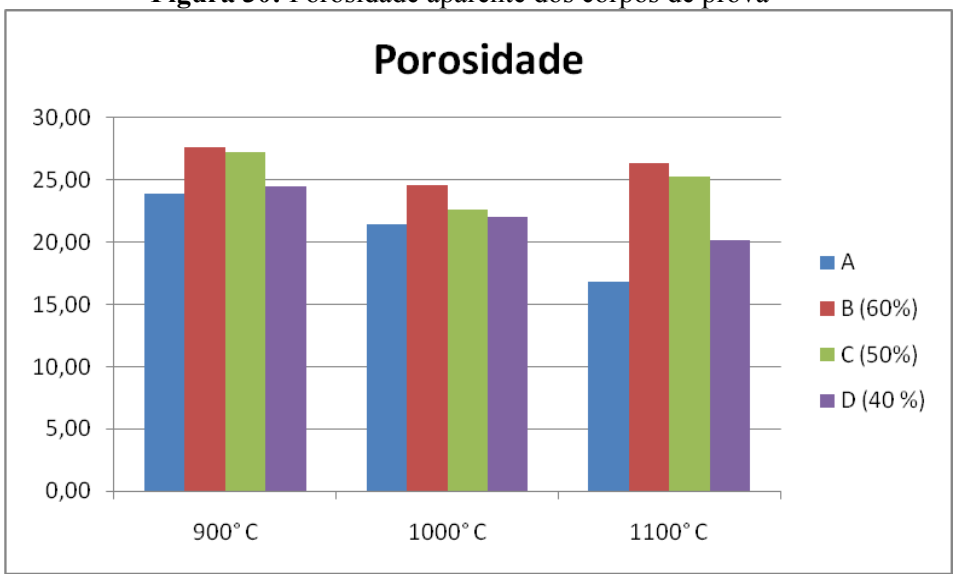
As **Figuras 28 a 30** mostram os resultados obtidos para os ensaios (MEA, PA, e AA).

Figura 29: Massa específica aparente dos corpos de prova



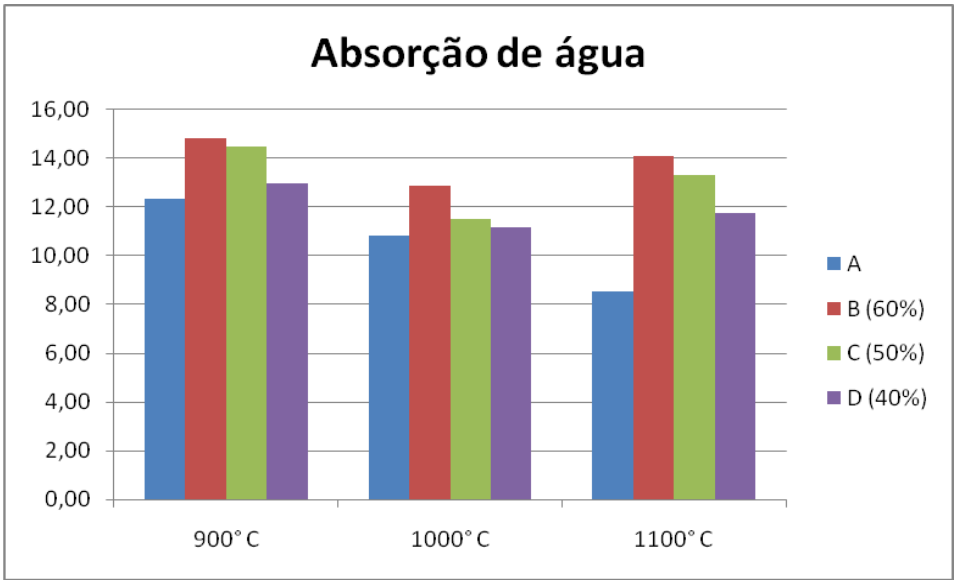
Fonte: Autora (2016)

Figura 30: Porosidade aparente dos corpos de prova



Fonte: Autora (2016)

Figura 31: Absorção de água dos corpos de prova



Fonte: Autora (2016)

Analisando os resultados **(Figuras 29 a 31)** pode ser observado que, de forma geral a MEA diminui e a PA e AA aumentam com a adição de resíduo (RCD). Considerando o efeito da temperatura, para todas as composições as amostras queimas em 1000°C apresentaram melhores valores de MEA, PA e AA, embora a resistência à compressão tenha apresentado resultados inferiores aos obtidos a 900°C.

Entretanto, todos os valores estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas: (AA < 22% para blocos cerâmicos e < 18% para telhas; PA < 30%). A MEA, para todos os CPs, também está acima do valor limite de 1,7 g/cm^3 (ASTM) (CONTRERAS, et. al., 2016).

Considerando os resultados obtidos para a resistência mecânica à compressão, as amostras com 40% de RCD apresentaram os melhores valores (MEA, PA e AA), os quais estão próximos dos valores obtidos com a argila pura.

Portanto, os resultados mostraram que, para a argila utilizada, é possível produzir tijolos maciços com adição de até 40% em peso de RCD e temperatura de queima de 900°C, com excelentes propriedades. A **Tabela 11** resume os resultados obtidos para esta amostra.

Deve ser ressaltado que, estes resultados foram obtidos para esta argila. Outras argilas podem apresentar resultados diferentes, os quais dependerão da composição química e mineralógica da argila.

Tabela 11: Resultados obtidos para os corpos de provas com 40% de RCD a 900°C

% de RCD Temperatura	PM (%)	RL (%)	PA (%)	AA (%)	MEA (g/cm^3)	RM (MPa)
40% - 900°C	6,78	0,02	24,50	12,99	1,94	10,78

Fonte: Autora (2016)

6. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios realizados para a caracterização dos materiais, observou-se que o "barro" utilizado como matéria prima para produção de tijolos cerâmicos tem alta concentração de argila e apresenta, portanto, alta plasticidade. A caulinita é o principal argilomineral, com mica e compostos (óxidos e hidróxidos) de ferro/alumínio como minerais secundários.

A perda de massa ao fogo e retração linear, aumentam com o aumento da temperatura, para a argila pura. Porém, para corpos de provas com RCD eles diminuem, principalmente a retração linear que pode provocar até mesmo dilatação (RL negativa).

Os resultados de massa específica aparente, porosidade aparente, e absorção de água mostram que todos os corpos de prova obtiveram valores dentro dos limites estabelecidos pelas normas técnicas: (MEA < 1,7 g/cm3 (ASTM), AA < 22% para blocos cerâmicos e PA < 30%).

Nos ensaios de resistência realizados, foi possível concluir que a resistência diminui conforme aumenta porcentagem de RCD no corpo de prova. Porém, na temperatura de 900°C, todas as composições apresentam resistência à compressão (RM) superior a 4 MPa, ou seja, tijolo maciço Classe C (NBR 7170, 1983). Além disso, composição com 40%-peso de RCD apresenta esta resistência (> 4 MPa), para todas as temperaturas de queima.

Os resultados indicam que é possível a utilização do RCD com esta argila para a produção de tijolos maciços, obtendo-se um material cerâmico com boas propriedades físicas. Os corpos de provas com 40% de RCD e temperatura de queima de 900°C apresentaram excelentes propriedades podendo ser considerados a composição e temperatura ideais, para as condições deste trabalho. Desta forma, é possível a utilização dos fornos à lenha já implantados nas cerâmicas.

Portanto, este trabalho apresenta uma oportunidade de reutilização deste resíduo, diminuindo o consumo de argila, e o impacto ambiental e social devido ao imenso volume de RCD descartado inadequadamente. Além disso, pode significar uma redução dos preços na construção civil, devido à utilização de matéria-prima mais barata e da redução do gasto com a destinação dos resíduos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S.C.; JOHN, V.M.; CHAVES, A.P.; ALMEIDA, S.L.M.; LIMA, F.M.R.S.; GOMES, P.C. **Aperfeicoamento da reciclagem da fração mineral dos resíduos de construção e demolição: Uso em concretos.** In seminário: O uso da fração fina da britagem. São Paulo - SP, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 8491; Tijolo Maciço de Solo-cimento – Especificação; NBR 8492; Tijolo Maciço de Solo-cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água; NBR 10004; Resíduos Sólidos – Classificação). Disponível em:<www.abnt.org.br>. Acesso em: Abril 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. Disponível em:<www.abrecon.com.br>. Acesso em: Abril 2015

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Dissertação de Doutorado. Esc. Eng. S. Carlos, USP. São Carlos – SP, 2007.

CABRAL JUNIOR, M. et. al. **Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil.** Rd. Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 15, n. 3, P. 7-18, 2010.

CANDIDO, V. S.; PINHEIRO, R. M.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA**,** C. M. F.***D*esenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas cauliníticas, chamote e argilito.** Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacaze – Rio de Janeiro, 2013.

CALDAS e SILVA, A. et al. **Tecnologias Alternativas para Habitação.** In: II congresso Internacional de Tecnologia e Gestão da Qualidade na Construção Civil, 2000, Recife. II Congresso Internacional de Tecnologia e Gestão da Qualidade na Construção Civil, Recife - PE, 2000.

CESP – Companhia Energética de São Paulo. **EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatorio de Impacto Ambiental.** vol. I e II, São Paulo, 1992/93.

COMITÊ DE MEIO AMBIENTE DO SINDUSCON-SP E PARCEIROS. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil** – A experiência do SindusCon-SP. São Paulo – SP,2005. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual_residuos_solidos.pdf.> Acesso em: Abril 2015.

CONORSA, 2008. Disponível em < http://www.conorsa.es>. Acesso em: fev. 2015

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA; **Resolução CONAMA 307 (CONAMA, 2002).** Disponível em <www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> Acesso em: Abril 2015.

CONTRERAS, M. et al. **Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study).** Elsevier journal of construction and building materials. V. 123, P. 594-600, 2016.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo - Manual de Métodos de Análise de Solo**, Rio de Janeiro, 1979.

ESIN, T.; COSGUN, N. **A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey**. Building and Environment, Fay, R, n. 42, v.4, p. 1667–1674, 2007

GALVÃO, A. C. P.; FARIAS, A. C. M; SOUZA, L.G.M. **Viabilização de Rejeitos de Vidro pa ra a Produção de Tijolos Cerâmicos**. Revista Holos, v. 4, n. 29, P. 59-69, 2013.

GOMES, C. F. **Argilas: O que são e para que servem**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 1988.

IAC, Instituto Agronômico de Campinas. **Métodos de Análise de Solos para fins de Fertilidade**, Boletim nº 81, B. Van Ray & A. J. B. Quaggio, Campinas - SP, 1983.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. Tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP, 2000.

JUNIOR, M. C; et. al. **Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil.** Seção de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica, Centro de Tecnologia de Obras de Infraestrutura, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2010.

LEAL, U. **Sobras que valem uma obra**. Téchne, São Paulo, n.º 55, p.58-62, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO. **Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. Brasília – DF, Novembro de 2011.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/guia_elaborao_plano_de_gesto_de_resduos_rev_29nov11_125.pdf> . Acesso em: Abril 2015

MONIZ, A. C. **Elementos de Pedologia**, Rd. Pol'igono, São Paulo, 1972.

MOTTA, J. M. et al. **As matérias-primas cerâmicas. Parte II: Os minerais industriais e as massas da cerâmica tradicional.** Revista Cerâmica Industrial, São Paulo, v.7, n. 1, p 33-40, 2002.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. **Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha**. Revista Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 02, p.31-35, 1997.

ROMERO, M.; MÁRQUEZ, J.M.; RINCÓN, J. M. **Kinetic of mullite formation from a porcelain stoneware body for tiles production.**Journal of the European Ceramic Society, Madri, Spain, vol. 26, p.1647–1652, 2006.

SILVA FILHO, R. W. **Dissertação de Mestrado**, Depto. de Física, Univ. Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande - MS, 1999.

SILVA, J. E. O. **Desenvolvimento de cerâmica vermelha utilizando rejeitos da construção civil**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2007.

SOUZA, A. E.; TEIXEIRA S. R.; SANTOS G. T. A.; LONGO E. **Adição de rocha sedimentar às argilas cauliníticas: influência no processo de sinterização.** Departamento de Física, Química e Biologia, Universidade Estadual Paulista – FCT/UNESP. Presidente Prudente - SP, 2013.

SOUZA, A. E.; TEIXEIRA, S. R.; SANTOS, G. T. A.; DIAS, F. C. **Caracterização de argilas usadas pela indústria cerâmica vermelha de Martinópolis – SP e efeito da incorporação de resíduo sólido nas suas propriedades cerâmicas**, Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro – SP, 06 a 09 de julho de 2005, CD-ROM, Ref. 5-33.

SOUZA SANTOS, P. **Ciência e Tecnologia de Argilas,** Vol. 1 e 2, Ed. Edgard Blücher São Paulo, 1989.

STRADIOTO, M. R; KIANG, C.H; CAETANO-CHANG, M.R. **Caracterização petrográfica e aspectos diagenéticos dos arenitos do Grupo Bauru na região do sudoeste do Estado de São Paulo**. Revista Escola de Minas. Ouro Preto – MG, v. 61, n. 4, p. 433-441. Out./Dez. 2008.

TEIXEIRA, S. R. ; DIXON, J B ; WHITE, G. N. **Kaolin mineralogy of a red Brazilianoxisol.** Texas journal of microscopy, EstadosUnidos, V. 27, N.01, P. 11-11, 1996.

TEIXEIRA, S. R. and S. A. de Souza, **Ceramic Properties and mineralogical Characterization of Clays Used in the Ceramic Industry in West of Sào Paulo State-Brazil.** The 12th International Clay Conference: "2001 a Clay Odyssey" and 3ed International Symposium on Activated Clays (ISAC), Bahia Blanca, Argentina, July 22-28, 2001.

TEIXEIRA, S. R., **Caracterização de argilas usadas para produção de cerâmica vermelha e estudo das alterações nas suas propriedades pela adição de resíduos sólidos.** Tese de Livre-Docencia apresentada no DFQB/FCT/UNESP, campus de Presidente Prudente, outubro de 2006.