

Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT)

Agnes Fonseca Souza

**REAPROVEITAMENTO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO NA
PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS**

Presidente Prudente
Agosto/2021

AGNES FONSECA SOUZA

**REAPROVEITAMENTO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO NA
PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS**

Dissertação apresentada como requisito à
obtenção do título de Mestre à
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” – Programa de Pós-
Graduação em Ciências e Tecnologia de
Materiais, sob a orientação da Prof^a. Dr^a.
Agda Eunice de Souza.

Presidente Prudente - SP
Agosto/2021

S729r	Souza, Agnes Fonseca Reaproveitamento da areia descartada de fundição na produção de blocos cerâmicos / Agnes Fonseca Souza. -- Presidente Prudente, 2021 93 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente Orientadora: Agda Eunice de Souza Albas 1. Argila. 2. Areia descartada de fundição. 3. Resíduo. 4. Blocos estruturais. I. Título.
-------	--

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE AGNES FONSECA SOUZA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 11 dias do mês de agosto do ano de 2021, às 14:30 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de AGNES FONSECA SOUZA, intitulada **REAPROVEITAMENTO DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, Prof. Dr. CARLOS MAURÍCIO FONTES VIEIRA (Participação Virtual) do(a) Laboratórios de Materiais Avançados / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Física / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente - UNESP. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA _____. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. AGDA EUNICE DE SOUZA ALBAS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS, por conceder as oportunidades que tive e fazer-las com que se concretizasse. Aos meus pais, Jaqueline Fonseca Perez Souza e Gilson Antônio de Souza e ao meu irmão Guilherme Fonseca Souza pelo apoio e incentivo nas horas incansáveis de estudo e por acreditarem e me fazerem acreditar que sou capaz de conseguir realizar todos meus sonhos e, acima de tudo, nunca desistir diante de nenhum obstáculo que vier pela frente. Ao meu namorado André Fernando Galante por me amparar nas horas de desespero, ser meu incentivador a todo momento, companheiro e amigo. A minha Prof^a orientadora Agda Eunice de Souza, por todas as orientações, ensinamentos, confiança, paciência pelo tempo que disponibilizou a me ajudar sem medir esforços para realização desta dissertação e, principalmente, pela simpatia que teve comigo desde o começo ao me aceitar como orientanda e até os dias de hoje. A todos os integrantes do Laboratório de Gestão e Caracterização de Resíduos Sólidos (LCGRS), Danielly, Luis, Ana, João, Victor, Gleyson, Bruno, Renata, Thais, Wagner, Leila e Camila pela amizade e auxílio sempre que precisei. Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação (POSMAT) pela oportunidade de aperfeiçoamento e ao Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo pelo apoio técnico em parte deste trabalho.

Reaproveitamento da areia descartada de fundição na produção de blocos cerâmicos

Resumo

Os resíduos das indústrias de fundição no Brasil, em geral, são dispostos dentro da própria empresa, pois seu descarte correto, em aterros certificados, é um processo oneroso. Em muitos casos, estes resíduos acabam sendo descartados inadequadamente no meio ambiente. Neste contexto, este trabalho mostra a viabilidade da utilização de um dos resíduos sólidos gerados pela indústria de fundição de ferro – a areia descartada de fundição (ADF) – incorporado em material argiloso (argila pura) para a fabricação de blocos cerâmicos. Amostras de ADF e argila foram inicialmente caracterizadas e, a incorporação da ADF foi feita em proporções variando de 0 a 20% em peso. Os corpos de prova foram sinterizados em temperaturas variando de 800 a 1100°C e, caracterizados quanto às suas propriedades físicas e mecânicas. Os resultados mostraram que nem todas as propriedades melhoraram com o aumento da temperatura de queima. As diferentes concentrações de ADF influenciaram diretamente nas propriedades, considerando a margem de erro dos ensaios, com exceção do MRF, que apresentou melhores resultados para as amostras com concentrações de até 15% em peso de ADF incorporadas. Os ensaios físicos e mecânicos, apresentaram valores dentro dos limites recomendados para fabricação de blocos e tijolos para alvenaria estrutural. Os valores de resistência à flexão, foram maiores que 2 MPa, absorção de água por imersão, variaram de 8% a 25% e retração linear de queima foi identificado valor mínimo de aproximadamente 0,25% e valor máximo de 3% de retração. A ADF, portanto, atuou como material não plástico adicionado à matriz cerâmica que era composta com argila de alta plasticidade. Os resultados obtidos mostraram a viabilidade de aproveitamento do resíduo ADF, fornecendo uma alternativa para a diminuição do seu descarte inadequado e, implicitamente, para um aumento do tempo de vida útil das jazidas de extração de argila.

Palavras chave: argila, areia descartada de fundição, resíduo, blocos estruturais.

Reuse of discarded foundry sand in the ceramic blocks production

ABSTRACT

Waste from the foundry industries at Brazil, generated in large quantities, is generally disposed within the company, because correct disposal in certified landfills is a costly process. In many cases these wastes are improperly disposed in the environment. In this context, this work shows the viability of to use a solid waste generated by the iron foundry industry - the waste foundry sand (WFS) - in clay material (pure clay) used for the bricks and structural blocks manufacture. WFS and clay samples were initially characterized and the WFS incorporation was done in proportions ranging from 0 to 20% by weight. WFS was used as a non-plastic material added to the ceramic matrix containing highly plastic clay. The probes were sintered at temperatures ranging from 800 to 1100°C and characterized as to its physical and mechanics properties. The results showed that not all properties improve with increasing firing temperature. The WFS different concentrations influenced on properties, considering the standard deviation of the tests, except for flexural rupture modulus, which presented better results for samples with up to 15wt% concentrations of incorporated WFS. The physical and mechanical tests presented values within the recommended limits for the manufacture of blocks and bricks for structural masonry. Flexural strength values were greater than 2 MPa, water absorption ranged from 8% to 25% and linear firing retraction was identified as a minimum value of 0.25% approximately and a 3% maximum value. ADF, therefore, acted as a non-plastic material added to the ceramic matrix that was composed of highly plastic clay. The obtained results showed the viability of the WFS waste, providing an alternative for the reduction of its incorrect disposal and, implicitly, for an increase of the clay extraction deposits useful life.

Keywords: clay, discarded foundry sand, waste, structural blocks

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Blocos de vedação de 8 furos.	5
Figura 2: Representação da camada de tetraedros de silício e octaedros de alumínio.....	6
Figura 3: Grupo da Clorita com estrutura 2:1:1	8
Figura 4: Representação do grupo das Micas com estrutura 2:1	9
Figura 5: Representação esquemática da fundição em molde de areia.....	18
Figura 6: Fusão do (a) Ferro (b) Alumínio.	20
Figura 7: Escória sendo vertida em forno cubilô.	21
Figura 8: Blocos estruturais em processo de secagem no pátio da Indústria (Cerâmica Santa Marta): (a) 6 furos, (b) 8 furos.....	24
Figura 9: Depósito das argilas da Cerâmica Santa Marta	25
Figura 10: Preparação da massa cerâmica com adição de ADF e água.	26
Figura 11: Amostra úmida em embalagem plástica	26
Figura 12: (a) Prensa Hidráulica SCHULZ; (b) Matriz uniaxial.	27
Figura 13: Mufla EDG 3000 utilizada para sinterização dos corpos de prova ..	28
Figura 14: Corpos de prova após processo de sinterização	28
Figura 15: Esquema de funcionamento da balança hidrostática.	32
Figura 16: Representação das forças que agem no corpo parcialmente imerso e submerso.....	33
Figura 17: Corpos de prova imerso.	35
Figura 18: (a) Cp após prensagem, (b) Cp após secagem e (c) Cp após queima.	36
Figura 19: Equipamento de Módulo de Ruptura a Flexão de três pontos.	39
Figura 20: Difratoograma de raios X da ADF.	42
Figura 21: Difratoograma de raios X da argila em pó.....	44
Figura 22: Difratoograma de raios X da argila em lâmina.	45
Figura 23: Termograma de DSC e TG da ADF.	46
Figura 24: Termograma de DSC e TG da Argila.	47
Figura 25: RLq em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.	48

Figura 26: Retração linear de queima em função do teor de ADF incorporado: (a) 0%; (b) 5%; (c) 10%; (d) 15% e (e) 20%.....	49
Figura 27: Perda ao fogo das amostras com resíduo incorporado.....	50
Figura 28: PA em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.	52
Figura 29: AA em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.	53
Figura 30: MEA em função da temperatura das amostras com ADF incorporadas.....	54
Figura 31: MRF em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.	55
Figura 32: DRX da argila in natura e dos corpos de prova sem adição de ADF (0%), sinterizados nas diferentes temperaturas.	58
Figura 33: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 5% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	59
Figura 34: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 10% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	60
Figura 35: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 15% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	60
Figura 36: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 20% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	61
Figura 37: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova sem adição de ADF (0%), sinterizados nas diferentes temperaturas.	63
Figura 38: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 5% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	64
Figura 39: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 10% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	64
Figura 40: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 15% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	65
Figura 41: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 20% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação mensal (fevereiro/janeiro 2021) e interanual (jan.-fev. 21/20) da produção brasileira de fundidos.	15
Tabela 2: Análise Textural.....	40
Tabela 3: FRX da argila pura e ADF.	41
Tabela 4: FRX das amostras sinterizadas com resíduo incorporado.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos resíduos conforme Conama nº 307	12
Quadro 2: Destinação adequada dos resíduos da construção civil	13
Quadro 3: Aplicação da ADF em alguns países.....	23

LISTA DE ABREVIações

AA – Absorção de Água.

ABIFA – Associação Brasileira de Fundição.

ADF – Areia Descartada de Fundição.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica.

CP – Corpo de Prova.

CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

MEA – Massa Específica Aparente.

MTE – Ministério Do Trabalho E Emprego.

MRF – Módulo de Ruptura à Flexão.

PA – Porosidade Aparente.

PIB – Produto Interno Bruto.

RLq – Retração Linear de Queima.

RSI – Resíduo Sólido Industrial.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo Geral	3
2.2	Objetivos Específicos	3
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1	Materiais Cerâmicos.....	4
3.1.1	Argilas em Cerâmica Vermelha	5
3.1.2	Argila e Argilominerais.....	6
3.1.3	Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha.....	10
3.2	Resíduos Sólidos e Cerâmica Vermelha.....	11
3.3	A Indústria de Fundição	15
3.3.1	Composição dos Moldes para Fundidos.....	16
3.3.2	Processo de Fundição	18
3.3.3	Os Resíduos da Indústria de Fundição.....	20
3.3.4	Aplicação da ADF	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Material Argiloso	24
4.2	Areia Descartada de Fundição.....	25
4.3	Preparo dos corpos de prova	25
4.4	Caracterizações	29
4.4.1	Análise Textural da Argila.....	29
4.4.2	Difratometria de Raio X	29
4.4.3	Análise Térmica.....	30
4.4.4	Análise Química por Fluorescência de Raios X.....	30
4.4.5	Ensaio Físicos e Mecânicos.....	31
5	Resultados e Discussões.....	40
5.1	Textura da Argila.....	40
5.2	Análise Química da Argila e ADF.....	40
5.3	Difração de Raios X (DRX) das amostras de ADF e Argila.....	42
5.3.1	DRX da ADF	42
5.3.2	DRX da Argila em pó	43
5.3.3	DRX da Argila em lâmina de vidro	44
5.3.4	Análise Térmica da ADF e da Argila.....	45

5.3.5	Ensaio Físico e Mecânico dos corpos de prova	47
6	Análise Química das Amostras Sinterizadas	56
7	DRX Amostras Sinterizadas em diferentes temperaturas.....	56
8	Microscopia Óptica das Amostras Sinterizadas	61
9	Conclusão.....	66
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O Brasil encontra-se no 9º lugar no ranking mundial na produção de fundidos, conforme a revista Modern Casting (data-base Dezembro de 2018). Segundo a Associação Brasileira de Fundição (ABIFA), a produção de fundidos de ferro total foi de 378.118 toneladas no primeiro bimestre de 2021 obtendo um crescimento de 6,0% comparado com o mesmo período do ano de 2020. Conforme o balanço anual divulgado pela ABIFA, a produção brasileira de fundidos totalizou 2.073,2 mil toneladas em 2020, adquirindo um volume de - 9,4% inferior ao registrado em 2019. Este registro inferior é decorrente dos efeitos do período pandêmico que afetaram a economia mundial. O setor de fundição brasileiro tem como característica o uso intensivo de mão de obra e a matéria-prima de origem nacional, que lhe proporciona uma independência do mercado externo. Com isso, o setor de fundição gera um número significativo de empregos diretos e indiretos na área produtiva da fundição.

Segundo **Coutinho Neto (2004)**, na indústria de fundição, o processo mais utilizado é a moldagem em areia, por conta dos benefícios econômicos e por permitir uma produção de qualidade. Nesse processo, a areia é utilizada como molde, e, conforme sua utilização ser repetida algumas vezes, acaba perdendo as propriedades físicas importantes para a moldagem das peças, precisando, assim, ser substituída. Com a substituição dessa areia, é produzido um resíduo industrial, chamado areia descartada de fundição (ADF).

Essa areia descartada de fundição é um resíduo gerado em quantidades expressivas pelas indústrias de fundições no Brasil e, portanto, o reaproveitamento dessa areia é de suma importância. O descarte inadequado deste resíduo acaba poluindo o meio ambiente, e, o descarte em aterros industriais implica em custos adicionais às indústrias de fundição.

Por outro lado, **Biolo (2005)** já relatava que a construção civil é um setor que garante uma possibilidade de utilização segura dessas areias residuais. A indústria de cerâmica vermelha, por sua vez, é demasiadamente promissora para absorver resíduos poluentes, como as ADFs, que é classificada como resíduo sólido não perigoso e não inerte, classe II-A. Isso pode ser feito pelo fato de a massa cerâmica ser heterogênea, com ampla variação mineralógica, física e química, de forma que tolera e aceita a presença de materiais residuais de diversos tipos e origens, como por exemplo, o lodo da Estação de Tratamento

de Água (ETA), cuja classificação é do tipo Classe IIA - não inerte (PINHEIRO, 2014) e o lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), que é classificado como Classe IIA – não inerte.

Neste contexto, foi proposto neste trabalho a incorporação de ADF, como material não plástico, em uma matriz cerâmica utilizada para produção de blocos, visando, tanto o reaproveitamento da areia, quanto a avaliação das propriedades finais dos materiais cerâmicos com o resíduo incorporado, buscando obter resultados que possibilitem a utilização desse resíduo em substituição parcial do material argiloso. O desenvolvimento deste trabalho visa mostrar uma viabilidade de reaproveitamento deste resíduo pela indústria ceramista, de modo que estas empresas possam usá-lo na produção de blocos cerâmicos, sem prejudicar suas propriedades em relação às normas exigidas. Com isso, as empresas poderão contribuir com a redução do descarte inadequado desse resíduo, além dos gastos com o seu transporte. Neste contexto, este trabalho traz a importante contribuição para de oferecer possibilidades de produção de materiais mais sustentáveis, quesito tão almejado nos dias atuais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência da ADF nas propriedades físicas e mecânicas de corpos de prova cerâmicos.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o material cerâmico à base de argila quanto às suas propriedades químicas e mineralógicas, granulométricas e térmicas;
- Caracterizar a ADF quanto à sua estrutura, composição e comportamento térmico;
- Caracterizar corpos de prova sinterizados em diferentes temperaturas quanto às propriedades físicas e mecânicas e quanto à microestrutura.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Materiais Cerâmicos

A palavra “cerâmica” é originada do termo grego “keramicos”, tendo como significado “matéria-prima queimada”. As propriedades desejadas da cerâmica são obtidas por meio de processo de tratamento térmico em altas temperaturas, mais conhecido como processo de sinterização **(CALDAS, 2012)**.

São denominados materiais cerâmicos, os minerais, óxidos ou nitretos, de composição variável e pureza não exata. Quando submetidos a diferentes temperaturas durante um tempo determinado, os materiais cerâmicos sofrem reações desconhecidas de forma incompleta, dando origem a produtos heterogêneos e não-estequiométricos **(SANTOS,1989)**.

O setor cerâmico é dividido em vários outros setores, tais como cerâmica vermelha, cerâmica branca, materiais refratários, dentre outros. Se tratando mais especificamente do setor de cerâmica vermelha e levando em consideração a área da construção civil, os materiais mais produzidos são blocos, tijolos e telhas. As principais propriedades destes materiais são avaliadas pela norma vigente NBR 15270, no Brasil. Dentre tais propriedades, encontram-se a retração linear, absorção de água, resistência mecânica e densidade aparente.

Em todo Brasil, a indústria de cerâmica vermelha obtém um faturamento em torno de R\$ 18,0 bilhões/ano, conforme os dados fornecidos pela Sindicer (2019). Segundo dados da RAIS (TEM – MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2018), o setor da indústria cerâmica contava com 5.532 estabelecimentos em 2016, empregando 87.280 profissionais **(JUNIOR, 2019)**.

As indústrias ceramistas brasileiras têm participação em cerca de 1% no PIB Nacional. Cerca de 40% desta participação, é representada pelo setor da cerâmica vermelha **(Macedo, 2012)**. De acordo com a **ANICER (2011)**, o número de empresas cerâmicas e olarias, no Brasil, é de aproximadamente, 6.903, faturando, anualmente, cerca de 18 bilhões de reais. Para isso, são produzidos cerca de 4,5 bilhões de blocos cerâmicos mensalmente, consumindo pouco menos de 9 bilhões de toneladas de argila, isso tudo representando 4,8% do macro setor da construção civil. As tradicionais indústrias cerâmicas utilizam a argila como matéria prima principal e têm como produtos acabados diversos

materiais que contém em sua composição, os silicatos. Recentemente, tem sido desenvolvidos novos produtos para atender à demanda de materiais capazes de suportar temperaturas mais elevadas, resistir pressões, além de apresentar propriedades mecânicas superiores, características elétricas especiais ou, até mesmo, oferecer proteção contra os agentes químicos corrosivos **(ANICER, 2011)**.

3.1.1 Argilas em Cerâmica Vermelha

A argila utilizada na indústria de cerâmica vermelha engloba minerais de natureza argilosa. A utilização das argilas nas indústrias de cerâmica vermelha é aplicada como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, tubos, ladrilhos, blocos decorativos entre outros. A Figura 1 mostra um tipo de blocos cerâmicos comumente usados na construção civil.

Figura 1: Blocos de vedação de 8 furos.



Fonte: sintricombo.com.br/vitorias-nas-ceramicas-e-olarias-sao-intensificadas-pelo-sintricombo/

As argilas possuem granulometria muito fina e graus de plasticidade distintos. Quando adicionada determinada quantidade de água, a trabalhabilidade, a resistência a verde, a seco e após o processo de queima, são

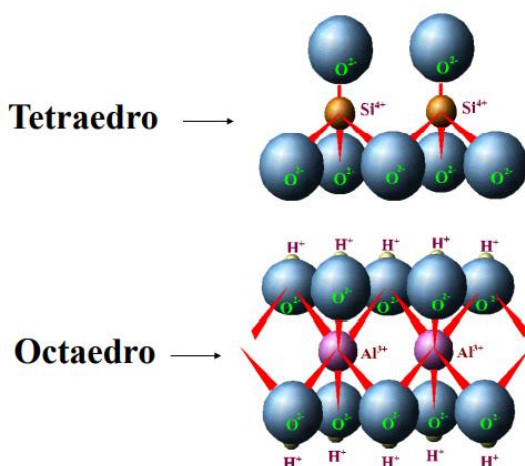
aspectos importantes que devem ser levados em consideração para fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos (**JUNIOR, 2008**).

3.1.2 Argila e Argilominerais

A argila é um material natural, terroso constituída por argilominerais ou minerais de argila com granulometria inferior a 2 micrômetros (μm). Se tratando de propriedades das argilas, todas elas são derivadas dos argilominerais. Os argilominerais são, geralmente cristalinos, quimicamente formados por silicatos hidratados podendo conter alumínio, magnésio, ferro, cálcio, potássio e sódio, dentre outros elementos. A maioria dos argilominerais são classificados como filossilicatos, ou silicatos de camadas, podendo, também, se organizarem na forma de fitas. Os principais grupos de argilominerais cristalinos são: caulinita, micas, vermiculitas e esmectitas (**GOMES, 1988; MOTTA, 2004**).

Os argilominerais são constituídos por camadas formadas por folhas contínuas tetraédricas ligadas às folhas octaédricas podendo formar estruturas denominadas do tipo 1:1, 2:1 e 2:1:1. A Figura 2 ilustra a estrutura básica que compõe um argilomíneral, em que os átomos de oxigênio se ligam em torno dos átomos de silício ou alumínio, organizando-se para formarem as folhas tetraédricas e octaédricas.

Figura 2: Representação da camada de tetraedros de silício e octaedros de alumínio.



Fonte: Pires (2004)

Uma estrutura cristalina de um argilomíneral do tipo 1:1 corresponde tipicamente, portanto, à combinação de uma folha tetraédrica de silício unida a

uma folha octaédrica de alumínio. Os minerais que possuem estrutura 1:1 são: Caulinita, Halosita, Narsita, Diqrita.

Na estrutura da caulinita (do tipo 1:1), os tetraedros de silício são formados pela ligação de um átomo de silício com quatro átomos de oxigênio. Assim, quando várias dessas unidades se unem quimicamente entre si ocorre a ligação da lâmina tetraédrica, podendo essa lâmina ser simbolizada pela forma geométrica do trapézio (Figura 3). Já no octaedro de alumínio é feita uma ligação com um átomo de alumínio e seis átomos de oxigênio. Os octaedros de alumínio se ligam formando uma lâmina, representada pela figura geométrica retângulo (Figura 3). Esse grupo da caulinita possui um espaçamento estrutural de 7Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$).

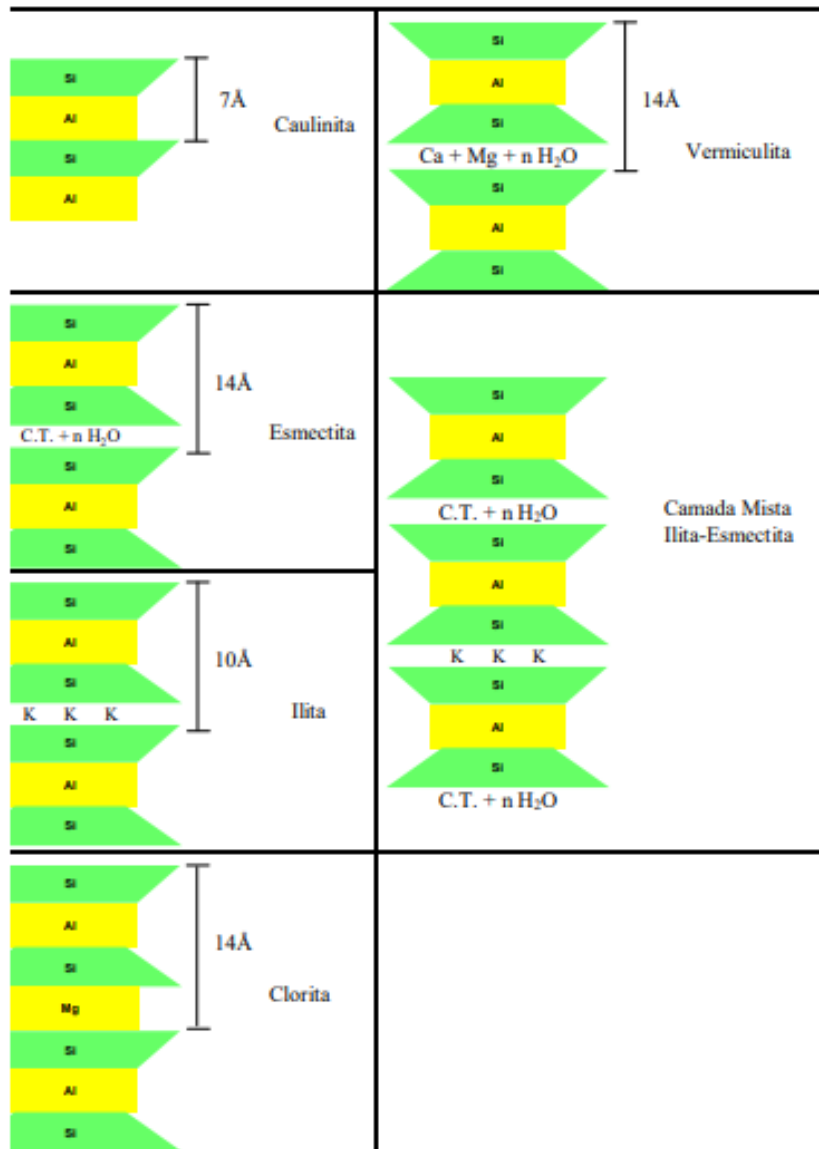
Já a estrutura do tipo 2:1 corresponde à duas folhas tetraédricas ligadas à uma folha octaédrica intermediária. Na folha tetraédrica $\frac{1}{4}$ do Si^{4+} é substituído por Al^{3+} . A Figura 4 ilustra como é a organização das folhas para formação das estruturas do tipo 2:1. Minerais com estrutura 2:1 estão no Grupo da Mica, Vermiculita e Esmeclita. Os minerais do grupo da Mica são os que aparecem com mais frequência nas argilas. O espaçamento entre suas camadas estruturais é de 10Å.

E, o mineral com estrutura 2:1:1 está apenas o Grupo da Clorita, representada na Figura 3, junto a outros exemplos de grupos 1:1 e 2:1 (**GOMES, 1988**). A estrutura da Clorita se diferencia das demais estruturas trioctaédricas, pois, entre as suas camadas com folhas Te-Oc-Te há outra folha octaédrica geralmente com o Mg^{+} , porém podendo ser substituído por Fe^{2+} ou Al^{3+} . Essa estrutura possui um espaçamento de 14Å.

Tratando-se de argilas utilizadas para fabricação de blocos cerâmicos, a argila ideal deve ser aquela que possui plasticidade quando misturada com água, adquirindo consistência de modo que se consiga ser moldada nas mãos. Deve possuir resistência suficiente à tração para conseguir manter seu formato depois de moldada e, ainda, deve ser capaz de fundir as partículas quando queimada em altas temperaturas. A água de moldagem, a plasticidade e o comportamento na secagem e na queima dependem da granulometria e dos diversos minerais presentes. As argilas são consideradas partículas coloidais com diâmetro inferior a 0,005 mm, adquirindo alta plasticidade quando umedecidas. Quando secas, formam torrões que dificilmente são separados quando pressionado pelos

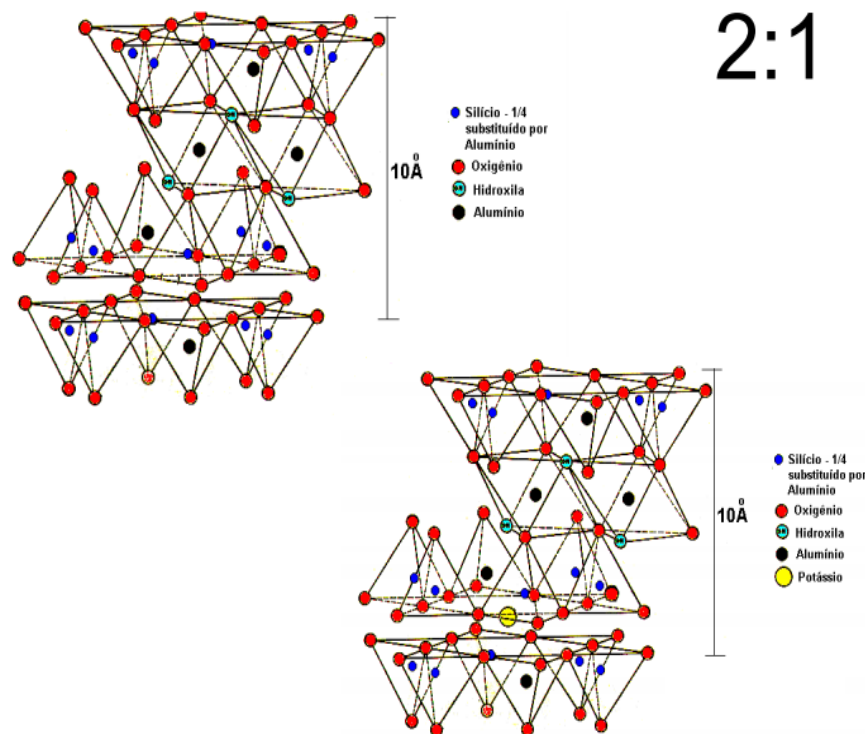
dedos. De modo geral, todas as propriedades físicas dos blocos são afetadas pela composição da matéria prima utilizada no processo de fabricação (RIZZATTI, 2011).

Figura 3: Grupo da Clorita com estrutura 2:1:1



Fonte: <https://pt.slideshare.net/Natemerich/argilominerais-propriedadeseaplicac3a7c3b5es>

Figura 4: Representação do grupo das Micas com estrutura 2:1



Fonte: <https://pt.slideshare.net/Natemerich/argilominerais-propriedadeseaplicac3a7c3b5es>

É comum utilizar, no processamento cerâmico, dois ou mais tipos de argilas, para adequar a conformação da massa. Argilas mais arenosas são caracterizadas como “fracas” ou “magras”. Já as argilas que são menos arenosas são caracterizadas como “fortes” ou “gordas”. Uma argila “fraca” tende a apresentar um excesso de sílica tornando-a mais frágil e porosa. Já as argilas que são denominadas “fortes” possuem alta plasticidade e tendem a deformar-se no processo de sinterização (**VIEIRA, 2001; SOUSA, 2013**). Para moldagem adequada das peças cerâmicas, é necessário que as argilas apresentem plasticidade apropriada, o que sugere, como dito anteriormente, que haja misturas entre as argilas “fortes” e “fracas”, ou entre argilas “fortes” e materiais não plásticos.

De uma maneira mais ampla, as argilas podem conter impurezas, matéria orgânica e minerais não argilosos, tais como os feldspatos, quartzo, calcita, hematita, dentro outros (**GOMES, 1988**). Os feldspatos correspondem aos óxidos de sódio, potássio e cálcio, que atuam como fundentes na matriz cerâmica, reduzindo poros e promovendo a formação da fase líquida,

principalmente em temperaturas acima de 1100°C (**SANTOS, 2016**). Também, são constituídas por quartzo, isto é, o óxido de silício cristalino. Em uma argila “forte”, o quartzo se apresenta em menor proporção, o que também pode auxiliar na formação da fase vítrea. Já nas argilas “fracas”, a quantidade de quartzo é maior, acarretando em uma redução drástica na resistência mecânica da peça cerâmica após o processo de sinterização.

As argilas comuns possuem, ainda, a goetita ou hematita, que correspondem ao óxido de ferro, o componente responsável pela cor avermelhada características dos materiais cerâmicos à base de argilas, após o processo de queima (**FACINCANI, 1992, SANTOS, 2016**).

3.1.3 Processo de Fabricação de Cerâmica Vermelha.

De acordo com **Caldas (2012)**, para confecção das peças de cerâmica estrutural, com destaque para telhas e tijolos, o processo é composto por 4 etapas: preparação da massa, conformação das peças, secagem e queima.

I - Preparação da massa.

O preparo da massa cerâmica constitui-se da formulação e mistura das matérias-primas, buscando uma composição de massa ideal. Para se ter uma composição ideal, a massa necessita ter plasticidade e fusibilidade, proporcionando, assim, uma boa trabalhabilidade e resistência mecânica de queima.

II - Conformação da peça

Na produção de cerâmica vermelha, existem dois processos que são bastante utilizados. São eles a extrusão ou prensagem.

No processo de extrusão, utiliza-se um equipamento chamado de extrusora, no qual uma massa num formato de pasta plástica e rígida é forçada por um molde e cortada em tamanhos já pré-determinados. Este processo é utilizado para fabricação de blocos de vedação furados, por exemplo.

No processo de prensagem deve-se colocar a massa granulada e com um menor teor de umidade possível dentro de um molde que é submetido a uma prensagem uniaxial com pressão pré-estabelecida. Este processo, geralmente, é utilizado na moldagem de tijolos maciços.

III - Secagem

Após a conformação da peça, ocorre a secagem, que é uma etapa importante, pois a água que foi utilizada na conformação é eliminada lentamente e de maneira uniforme, a fim de evitar possíveis defeitos na peça, como por exemplo, trincas, empenamentos ou quebra.

IV - Sinterização

A etapa da sinterização, comumente chamada de queima, é considerada a mais importante de todo o processo produtivo, visto que, durante essa etapa os produtos adquirem suas propriedades finais, por meio das transformações físicas, químicas e mecânicas que são causadas pela ação do tratamento térmico. O processo de queima, por sua vez, é conduzido em 4 fases:

O pré-aquecimento: ocorre um aquecimento gradativo para remover a água residual, levando em média cerca de 8 a 13 horas, chegando até 650°C.

Fogo forte ou caldeamento: tem início a partir de 650°C, podendo aumentar rapidamente até 1000°C. É nesta fase que se verifica as reações químicas, dando características à peça cerâmica, como dureza, estabilidade, coloração pretendida e resistência a agentes físicos e químicos.

Patamar: momento em que a temperatura máxima de queima é mantida por um determinado tempo.

Resfriamento: é realizado lentamente e de forma homogênea para evitar possíveis aparecimentos de trincas. A troca de calor é feito pelo uso de chaminés, num tempo de 38 a 50 horas **(CALDAS, 2012)**.

3.2 Resíduos Sólidos e Cerâmica Vermelha

A Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (12.305/2010) define Resíduos Sólidos como: “Todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso, soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” **(BRASIL, 2010)**.

Resíduos sólidos industriais (RSI), de acordo com a ABNT NBR 10.004-2004a, são aqueles produzidos de forma direta ou indireta no decorrer do

processo de transformação e que, de alguma forma, não pode ser aproveitado por seu gerador, sendo, portanto, descartados. Nesta classe de resíduos estão incluídos os resíduos da indústria de transformação e rejeitos radioativos, resíduos da construção civil e de demolição. De acordo com a norma citada acima, os resíduos sólidos se dividem em dois grupos, são eles: Perigosos – Classe I e Não perigosos – Classe II

Esta última classificação (resíduos não perigosos) ainda se subdivide em duas partes, não inerte (classe-II A) e inerte (classe- II B) **(NICOLITE, 2017)**.

A legislação que se refere aos Resíduos da Construção Civil é a Resolução do CONAMA nº307, de 05 de julho de 2002. O Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil deve ser elaborado, implementado e coordenado pelos municípios e deverá determinar algumas diretrizes, critérios, e procedimentos a serem adotados para que haja redução do impacto ambiental causado por esses resíduos, podendo ser observados nos Quadros 1 e 2 **(Resolução 307 Conama 2002)**.

Quadro 1: Classificação dos resíduos conforme Conama nº 307

Classes	Materiais Integrantes considerados na composição
A	Resíduos recicláveis, como agregados, tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto, areia e pedra
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação
D	Resíduos perigosos como tintas, solventes, óleos e amianto (contaminados)

Fonte: Resolução Conama nº 307 de 05/07/2002 e TESSARO, SÁ, SCREMIM 2012

Quadro 2: Destinação adequada dos resíduos da construção civil

Classes	Destinação
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: TESSARO, SÁ, SCREMIM 2012

Os resíduos sólidos são uma preocupação mundial devido ao volume gerado, sempre em grande quantidade e, também, pelo fato da dificuldade de sua destinação final. Esses resíduos geram sérios problemas ambientais quando depositados em locais como aterros sanitários ou lixões e acabam causando a degradação do solo, contaminação tanto do lençol freático, quanto de mananciais e, a contaminação do ar. O problema pode ser ainda maior quando não são depositados em aterros apropriados.

A incorporação de resíduos sólidos em produtos cerâmicos argilosos é uma alternativa válida que pode contribuir para a redução do impacto ambiental.

Há uma série de resíduos que podem ser incorporados em cerâmica vermelha, tais como: lodos da estação de tratamento de água, areia descartada de fundição, cinza do bagaço da cana-de-açúcar, detritos da indústria de papel e celulose, etc. Estes resíduos podem contribuir para melhorar o processamento cerâmico, e, quando incorporados, auxiliam na redução do consumo de argilas, que é um recurso natural não-renovável (**VITORINO, 2009**).

A aplicação desses resíduos pode ser encontrada em trabalhos, como, de **Pinheiros, et al (2014)** em que foi utilizado o resíduo de ETA em cerâmica vermelha (classe IIA - não inerte), **Collatto e Bergmann (2009)** que utilizaram

resíduo de celulose da indústria de papel, como matéria-prima para fabricação de material cerâmico (resíduo também classe IIA - não inerte) e trabalhos como o de **Areias (2017)** que fez a utilização do lodo de ETE em cerâmica vermelha (Classe IIA - não inerte).

Vieira e Monteiro (2009) apresentaram uma classificação sobre a incorporação de vários tipos de resíduos em cerâmica vermelha. Alguns deles são:

Resíduos combustíveis: são resíduos que possuem alto poder calorífico devido à alta concentração matéria orgânica. Nessa categoria são incluídos resíduos da indústria de papel, lama de alto forno e resíduos derivados da extração e refino de petróleo.

Resíduos que afetam as propriedades cerâmicas: são aqueles que interferem na resistência mecânica, absorção de água e retração linear. Dentre eles, destacam-se o chamote (argila queimada e moída em vários tamanhos de grãos), resíduos de mineração, lodo de refino e escória de aço, lodo de estação de tratamento de água, lodo de processo galvanico e cinzas não fundentes (como aquelas provenientes da queima do carvão em termoelétricas e do bagaço de cana em caldeiras);

Resíduos fundentes: são aqueles resíduos que apresentam uma quantidade consideravelmente alta de metais alcalinos e alcalinos terrosos (K_2O e Na_2O) que, quando em reação com a sílica e a alumina, favorecem a formação de fase líquida aumentando a densificação. Nesta classe incluem o resíduo de vidro, resíduo de serragem de rochas ornamentais, cinzas (oriundas da queima de alguns tipos de biomassa, como por exemplo as gramas, palhas, sobras de madeira) e resíduos contendo boro.

Dentre os diferentes tipos de resíduos que podem ser reaproveitados pelo setor de cerâmica vermelha, será destacado aqui, um dos resíduos provenientes da indústria de fundição de ferro, a areia descartada de fundição. Para isso, é necessário conhecer este setor industrial e seus processos de geração de resíduos.

3.3 A Indústria de Fundição

Segundo a Associação Brasileira de Fundição (**ABIFA**), a produção de fundidos no Brasil no primeiro bimestre de 2021 teve uma alta de (6,0%) na comparação interanual com 2020. A indústria de produção de ferro nos dois primeiros meses de 2021 somou 378.118 toneladas, com predominância para o ferro fundido, totalizando 302.121 toneladas, seguido do aço com 41.006 toneladas e metais não ferrosos com 34.991 toneladas. A Tabela 1 mostra dados comparativos da produção de fundidos no Brasil nos períodos mencionados.

Tabela 1: Comparação mensal (fevereiro/janeiro 2021) e interanual (jan.-fev. 21/20) da produção brasileira de fundidos.

Metal	Fev 2021 (t)	Jan 2021 (t)	Fev/Jan 2021 (%)	Jan/Fev 2021 (t)	Jan/Fev 20 (t)	Jan/Fev 21/20 (%)
Ferro	156.214	145.907	7,1	302.121	282.532	6,9
Aço	20.763	20.243	2,6	41.006	41.019	-
Não ferrosos	18.072	16.919	6,8	34.991	33.018	6,0
Cobre	2.804	1.776	-	4.580	3.670	24,8
Zinco	98	98	-	196	196	-
Alumínio	14.751	14.625	0,9	29.376	28.312	3,8
Magnésio	420	420	-	840	840	-
Total	195.049	183.069	6,5	378.118	356.569	6,0

Fonte: ABIFA – Associação Brasileira de Fundição.

O setor de fundição brasileiro gera um número significativo de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva de fundição. Além disso, destaca-se pelo uso da matéria-prima, toda de origem nacional, que lhe confirma uma independência do mercado externo (**SCHEUNEMANN, 2005**).

Para o processo de fabricação de peças fundidas, pode-se utilizar moldes, e, para isso, é necessária uma grande quantidade de areia para sua preparação (**DANTAS, 2003**). Em geral o índice de consumo de areia é variado. Estima-se que para 1kg de metal produzido é consumido em média de 0,8 a 1kg de areia

no processo de preparação dos moldes. Consequentemente, essa areia é rejeitada após um processo de reaproveitamento na confecção dos moldes, gerando a chamada “areia descartada de fundição” (ADF). A areia utilizada na preparação dos moldes, normalmente é extraída de jazidas de cava ou rios, sendo considerado um bem não renovável, causando, assim, impactos ambientais.

A areia é utilizada nos processos de fundição por ser resistente a danos causados pelo calor, é de fácil disponibilidade e por possuir afinidade com ligantes de material orgânico.

3.3.1 Composição dos Moldes para Fundidos

Existem dois principais tipos de areias de moldagem, são elas: “areia verde” e “areia ligada quimicamente”. Segundo **Coutinho Neto e Fabbri (2005)**, para produzir os moldes que dão o formato às superfícies externas da peça, é utilizada a areia aglomerada com argila. Já para produzir os machos, (formato da superfície interna da peça) são utilizadas areias aglomeradas com resinas sintéticas que, em geral, são de origem fenólica.

A areia verde é uma mistura de areia natural com argila, adquirindo, portanto, plasticidade. Estando úmida, essa mistura de areia com argila pode ser moldada. Os moldes devem ter boa resistência para receber às solicitações que irão sofrer, sendo, boa permeabilidade, reusibilidade e colapsibilidade (**CARNIN, 2008**).

Em geral, a composição da areia verde pode conter: sílica de alta qualidade (85-95%), que compõe a areia; argila bentonita (4-10%), usada como ligante; água (2-5%) e um aditivo carbonáceo (pó de carvão) (2-10%). O pó de carvão que faz parte da composição de areia de moldagem é conhecido como “cardiff”. É um material volátil e com facilidade de expansão ao ser aquecido (**CHEGATTI, 2012**). O principal objetivo da adição do pó de carvão na mistura da areia é evitar a penetração do metal líquido no molde de areia verde e melhorar o acabamento superficial e ajudar no desmolde da peça (**CARNIN, 2008**).

Essa mistura resulta em uma areia de cor preta. A areia verde também pode conter outros compostos, tais como, óxido de magnésio e óxido de potássio, entre outros **(SINGH e SIDDIQUE, 2012)**.

A areia ligada quimicamente é a mais usada, pois quando as peças apresentam detalhes ou cavidades, se faz necessário colocar no interior dos moldes de areia, peças sólidas, conhecidas como machos. Como a característica dos moldes e dos machos são diferentes, o sistema de fabricação dos mesmos também é. Em geral os machos são extraídos mediante impactos e devem ser fortes para suportar o metal fundido e, assim, ter colapsibilidade satisfatória para conseguir a remoção da peça após ser resfriada **(ADEGAS, 2007)**.

A areia ligada quimicamente é composta de 93 a 99% de sílica e de 1 a 3% de ligante químico. Os ligantes são utilizados para dar plasticidade, coesão e resistência para os moldes de fundição. Eles podem ser naturais, como por exemplo, óleos minerais, vegetais e bentonita, ou, podem ser sintéticos, como as resinas fenólicas **(CHEGATTI, 2012)**. Os produtos químicos mais comuns usados no sistema de aglutinantes são resinas epóxi, uretanos fenólicos, álcool furfurílico e silicatos de sódio **(SINGH e SIDDIQUE, 2011)**.

As resinas fenólicas são constituídas da mistura de formaldeído e fenol. Quando submetida à sinterização e quando há em excesso de formaldeído, a resina se caracteriza como RESOL (formaldeído/fenol ≥ 1), resultando em um pH básico. Por outro lado, quando há um excesso de fenol, esse tipo de resina se caracteriza como NOVOLACA (formaldeído/fenol < 1), caracterizando um meio ácido **(RODRIGUES, 2019)**.

De acordo com **Bitencourt e Pandolfelli (2013)**, as resinas, quando estão em temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$), normalmente seu estado é líquido viscoso. As resinas fenólicas NOVOLACA, são encontradas, geralmente, em estado sólido ou dissolvidas em alguns solventes. Já as resinas fenólicas do tipo RESOL, comumente, são disponíveis em estado líquido. Pode-se citar, como tipos de solventes mais utilizados, o metanol, o etileno glicol, o etanol, a acetona, a metil-etil-cetona e o furfural.

A mistura da resina fenólica com a areia depende da viscosidade da resina, visto que o líquido viscoso atrapalha a aglomeração dos grãos, que reflete

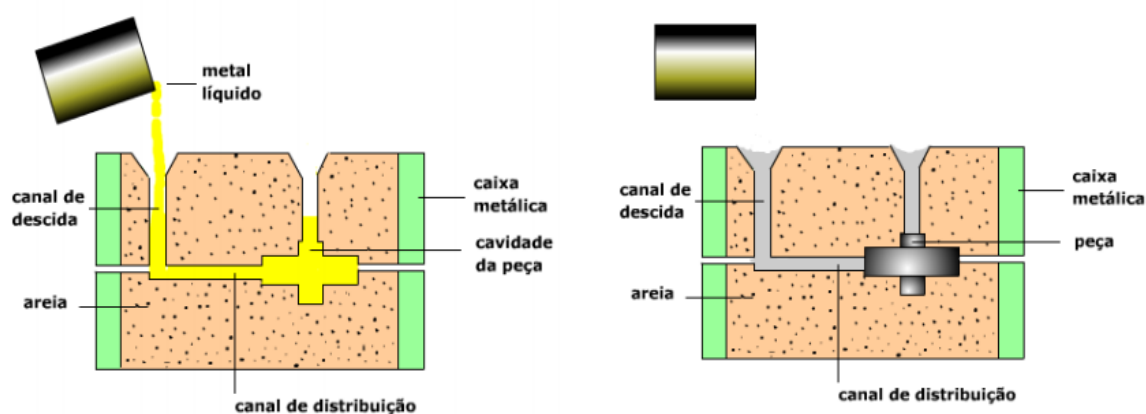
no tempo de agitação, na intensidade de compactação e no escoamento final dessa areia.

A resina fenólica é um material inflamável, podendo formar concentrações exorbitantes da mistura ar/vapor de solvente inflamável e até mesmo, ser explosiva. Deve-se utilizar o material em ambiente que tenha ventilação adequada, afastado de fontes de calor. Por ser um material inflamável, é de extrema importância evitar contato com a pele, visto que pode causar rachaduras, ressecamento e irritações **(FLORIDO, 2007)**.

3.3.2 Processo de Fundição

O processo de fundição constitui-se na fusão de um metal, que estando em estado líquido (Figura 5), é vertido na quantidade necessária para preencher o molde de areia e, após solidificar-se, constitui uma peça no formato desejado **(FAGUNDES, 2009)**. Este procedimento fundamenta-se no princípio de Arquimedes, que diz que “o líquido toma a forma do vaso que o contém” **(CARVALHO FERREIRA, 1999)**.

Figura 5: Representação esquemática da fundição em molde de areia.



Fonte: CIMM - Centro de Informação Metal Mecânica.

Antes de iniciar o processo de fundição, é necessário escolher o modelo da peça a ser fundida e o tipo de material a ser utilizado para ser fundido. De acordo com **Perini (1986)**, existe uma classe de peças metálicas e outra de não metálicas.

Para as peças metálicas, os materiais fundidos são classificados em ferrosos e não ferrosos. Os materiais fundidos ferrosos são ligas contendo Ferro, Carbono e Silício e são classificados em brancos, mesclados, cinzentos, nodulares, vermiculares, maleáveis e aços, cujo ponto de fusão pode chegar a 1400°C. Dentre os fundidos não ferrosos, estão os materiais fundidos em alumínio, zinco, cobre e magnésio. E, entre esses, os de alumínio, cujo ponto de fusão é, aproximadamente, 600°C, revelam aqueles de maior importância comercial nacional e internacionalmente. No mundo, cerca de 75% dos fundidos não ferrosos são produzidos em alumínio. Este percentual chega a 90% no Brasil **(CASOTTI, 2019)**.

O processo de fundição segue algumas etapas, como descritas a seguir.

1° - Conforme descrito por **Carnin (2008)**, o misturador é o principal componente, pois o processo se inicia através dele. A areia verde é colocada dentro do misturador pneumático junto com a argila (bentonita), pó de carvão (material carbonáceo) e água. A areia verde (areia natural) é comumente utilizada no processo de preparação de moldes para fundição, devido à sua boa coesão com a bentonita e com os aditivos (pó de carvão), facilitando a moldagem, além de ser reutilizada após a desmoldagem das peças metálicas. A bentonita é responsável pela coesão da areia quando fica em contato com a água no misturador. Quando a bentonita fica em contato com a mistura, proporciona plasticidade e consistência no molde, e, o pó de carvão impede o contato direto do metal líquido com a areia verde **(MARIOTTO, 1978)**.

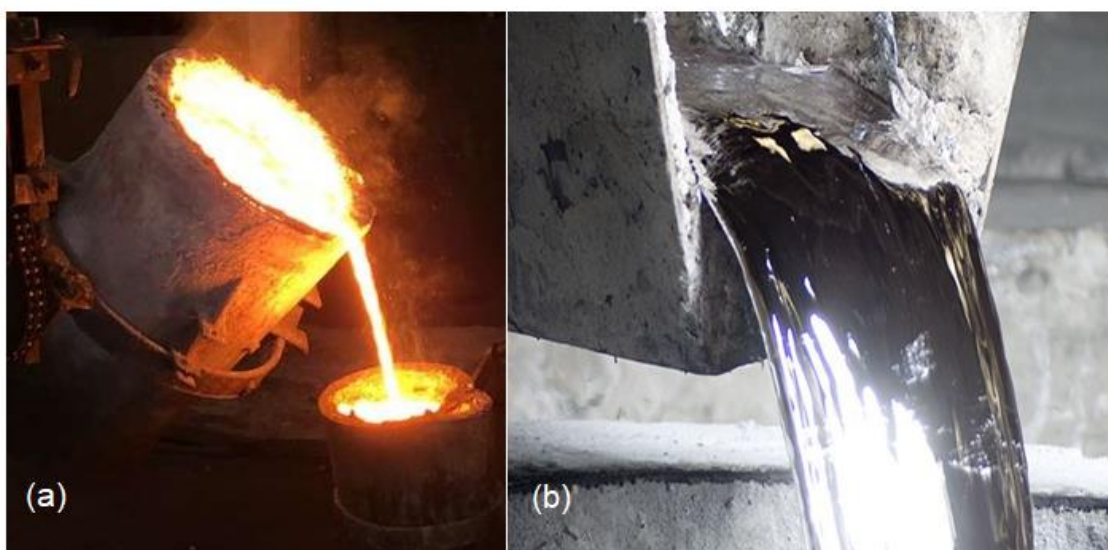
2°- Após as matérias-primas passarem por uma boa homogeneização no misturador, a próxima etapa é a compactação da areia de moldagem em torno do modelo (matriz da peça). Se, por ventura, a fundição produzir peças com elementos vazados e cavidades internas, haverá necessidade de inserção de um macho. A fabricação do macho se dá no setor da macharia, onde são utilizadas resinas fenólicas com a areia verde **(KONDIC, 1973)**.

3°- Depois de confeccionado o molde, que é feito em duas partes, uma inferior (caixa inferior) e outra superior (caixa superior) e acrescentado o macho, é implementado o canal, que corresponde a uma abertura por onde passa o metal líquido no molde fechado, como mostra na Figura 6 **(CAMPO FILHO, 1978)**.

4°- Depois que o molde for preenchido totalmente com o metal líquido, ocorre o processo de solidificação e resfriamento das peças. Logo depois, a peça é desmoldada e direcionada para o setor de limpeza e acabamento.

5°- A areia que os constituía foi desprendida da peça metálica recolhida e reaproveitada, retornando ao misturador por meio de esteiras para um novo ciclo de produção (SILVA, 2010).

Figura 6: Fusão do (a) Ferro (b) Alumínio.



Fonte: BEMA Fundição 2019 e LEMNOS Alumínio 2019

3.3.3 Os Resíduos da Indústria de Fundição

De acordo com **Rodrigues (2019)**, as indústrias de fundições são grandes geradoras de resíduos sólidos. Consequentemente, contribuem para um grande impacto ambiental, como por exemplo, a contaminação do solo, devido ao descarte inadequado destes resíduos, que, geralmente, é feito em locais impróprios.

A areia não reaproveitada (areia descartada de fundição – ADF), proveniente dos moldes das peças fundidas, representa o maior volume de resíduos produzidos pelas indústrias de fundição. O segundo maior volume de resíduo gerado são as escórias provenientes do processo de fundição do metal. Além destes, outros resíduos são gerados pelo setor de fundição, dentre eles, o

pó de exaustão da preparação da areia, da desmoldagem das peças, do forno de fusão do metal, da limpeza das peças e usinagem, lama de tratamento de água, e, refrigeração e cavaco da usinagem (**MORAES, 2002; PAGNUSSATI, 2004**).

Por se tratar da quantidade excessiva gerada pelas indústrias de fundição, será dada ênfase para as escórias e para as areias descartadas dos moldes de fundição.

Escória de Fundição

O resíduo de escória de fundição é originado no processo de fusão de ferro-gusa e fusão de sucatas de ferro fundido, para produzir peças com propriedades mecânicas e dimensões definidas, por meio do forno cubilô, conforme mostra a Figura 7 (**PAGNUSSATI, 2004**).

Figura 7: Escória sendo vertida em forno cubilô.



Fonte: Pagnussat, 2004.

Segundo **Reschke (2003)**, a escória é constituída por três componentes, óxido de alumínio (Al_2O_3), originário do desgaste do refratário, óxido de silício (SiO_2), proveniente também do refratário da areia que é ligada aos materiais de carga e cinza de coque; e o óxido de cálcio (CaO) procedente da adição de calcário (fundente) utilizado na fusão em forno cubilô.

O resíduo de escória produzido em forno cubilô, pode ser utilizado em concreto, blocos cerâmicos e cimentícios, devido a sua granulação obtida pelo meio do resfriamento brusco que proporciona a amorfização (estrutura amorfa, modifica a sua forma própria) da escória, que é uma das características que se deseja obter **(PAGNUSSAT, 2004)**.

Fazendo uma observação e ao mesmo tempo uma comparação, os fornos elétricos de média frequência não produzem escórias de valor comercial para fazer a reutilização, e, fornos cubilôs tem custos menores para tratamento e disposição do pó de fundição e das cinzas.

Areia Descartada de Fundição

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10004-2004 Classificação de Resíduos Sólidos, a ADF é classificada como resíduo sólido não perigoso e não inerte (Classe II-A) **(SANTOS, 2019)**.

Como já mencionado, para dar forma às peças metálicas, a indústria de fundição utiliza areias para criar os moldes e os machos, denominadas areia base ou areia natural. As areias, em geral, constituem 70% dos materiais utilizados na preparação dos moldes, possuem baixo custo e interagem facilmente com os ligantes, além de absorver e transmitir calor, pois os gases envolvidos no processo de moldagem passam por seus grãos **(SINGH E SIDDIQUE, 2012)**. A ADF possui vários elementos químicos, com predominância do óxido de silício (SiO_2) revestido com pó de carvão, bentonita e resinas fenólicas, como mencionado anteriormente **(ALVES, 2012)**.

Existe um limite de vezes para que a areia possa ser recuperada e reinserida no processo de preparação dos moldes de fundição. Com a sua reutilização, os grãos da areia perdem seu formato angular, um quesito extremamente necessário para formação dos moldes. Portanto, quando essas areias não podem mais ser reinseridas no processo de fundição, acabam sendo descartadas.

Tanto as escórias, quanto as ADFs são, normalmente, armazenadas dentro da própria indústria, em locais abertos, antes de serem destinadas para aterros industriais. A destinação destes resíduos aos aterros certificados é onerosa às empresas, que, na maioria dos casos estão localizadas geograficamente distantes destes locais. Outros fatores que aumentam os

custos desta disposição são as operações de manutenção e controle necessários em aterros industriais. Por outro lado, estes resíduos podem ser utilizados como subproduto em diversos setores, dentre eles o setor de cerâmica vermelha, que é o foco deste trabalho.

3.3.4 Aplicação da ADF

ADF é considerada um problema em todo o setor de fundição devido à grande quantidade gerada e ao custo para sua disposição correta. Em virtude disso, atualmente são realizados muitos estudos para aplicação deste resíduo como um subproduto. Para que possa ser feito o reuso da ADF, é necessário fazer a recuperação da areia no mesmo processo de fabricação **(QUISSINI, 2009)**.

Um exemplo de aplicação e/ou reutilização deste resíduo é a reconstrução de painéis de vazamento de metal. Geralmente, os revestimentos das painéis são confeccionados com areia, bentonita e silicato de sódio, que é um ótimo agregador e possui alta resistência às temperaturas de vazamento **(QUISSINI, 2009)**. Entretanto, não é só essa aplicação que se pode dar para as ADF. O Quadro 3 mostra como as ADFs estão sendo utilizadas em alguns países.

Quadro 3: Aplicação da ADF em alguns países.

País	Aplicação
Alemanha	Mistura asfáltica e construção civil.
Austrália	Produção de cimento, concreto e tijolos, mistura asfáltica e corretivo de solo.
Bélgica	Subproduto para construção civil como estradas, fabricação de cimento e tijolos.
Dinamarca	Material de enchimento, material para base e sub-base de pavimentação.
Finlândia	Aditivo para compostagem.
França	Mistura Asfáltica.

Suécia	Cobertura final de aterros e camadas internas de drenagem.
Estados Unidos	Remediação de solos degradados.
Brasil	Incorporação em camadas de asfalto, concreto e tijolos.

Fonte: QUISSINI, 2009.

Neste trabalho, a ADF foi utilizada como um material não plástico adicionado a um material argiloso, visando o uso para fabricação de blocos estruturais.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Material Argiloso

O material argiloso utilizado nesse trabalho foi uma argila pura, identificada como a melhor argila utilizada pela indústria cerâmica em que foi coletada (Cerâmica Santa Marta), localizada no município de Panorama, região do Oeste Paulista, SP. A empresa produz blocos cerâmicos de 6 e 8 furos (Figura 8), utilizando massa cerâmica composta por misturas de diferentes argilas. Estas argilas ficam dispostas no pátio da indústria e se diferenciam pela cor (Figura 9).

Figura 8: Blocos estruturais em processo de secagem no pátio da Indústria (Cerâmica Santa Marta): (a) 6 furos, (b) 8 furos



Fonte: A autora

Figura 9: Depósito das argilas da Cerâmica Santa Marta



Fonte: A autora

4.2 Areia Descartada de Fundição

O resíduo ADF foi coletado em uma indústria de fundição de ferro (Fundições Viotto), localizada no Distrito Industrial, em Presidente Prudente, SP. Este resíduo, contém resina fenólica em sua composição e conforme a NBR 10004. 2004a é classificado como sendo um resíduo Classe IIA – não perigoso e não inerte. Após ser coletado na indústria, em laboratório ele foi seco, moído e peneirado (0,59 mm), para utilização da granulometria adequada.

4.3 Preparo dos corpos de prova

O material argiloso foi seco em ambiente natural, por 24 horas. Após totalmente seco, o material foi triturado em um moinho de facas Marconi (MA-880) e peneirado usando uma peneira de abertura 0.59 mm. Toda a amostra de argila, depois de seca e triturada, foi armazenada em potes plásticos fechados.

Os corpos de prova cerâmicos foram preparados com a adição da areia de fundição em proporções de 0%, 5%, 10%, 15% e 20%, em massa. As misturas passaram por um processo de homogeneização. Em seguida, para cada mistura, foram adicionados 10%, em massa, de água deionizada (livre de contaminantes) onde obteve-se um material umedecido, preparando-o, assim, para compactação (Figura 10).

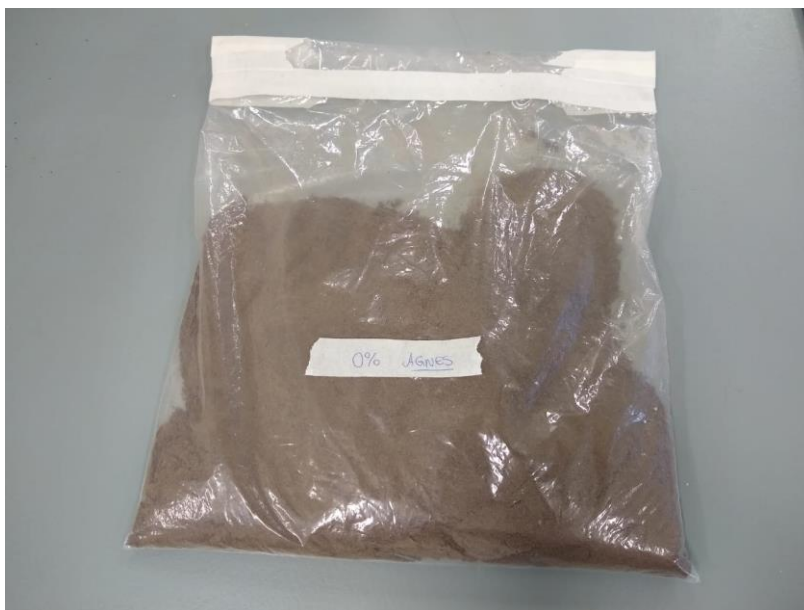
Figura 10: Preparação da massa cerâmica com adição de ADF e água.



Fonte: A autora

As amostras úmidas foram colocadas em embalagens plásticas, vedadas por 24 horas, e, manuseada periodicamente a fim de obter uma melhor homogeneização da umidade (Figura 11).

Figura 11: Amostra úmida em embalagem plástica

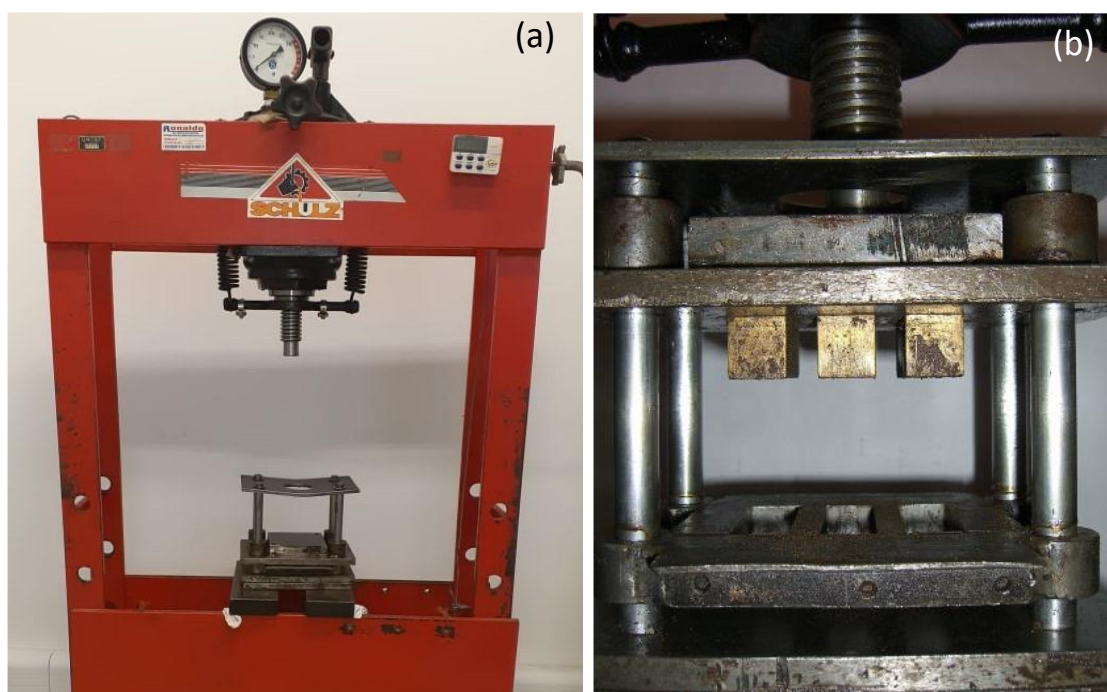


Fonte: A autora

Antes da prensagem dos corpos de prova, a massa plástica foi passada em uma peneira de 0.59 mm para reduzir os aglomerados de grãos e assim obter uma melhor distribuição dos mesmos.

Os corpos de prova prismáticos com dimensão de $\sim 60 \times 20 \times 5 \text{ mm}^3$, foram prensados em uma matriz uniaxial com uma força de 6 toneladas para três corpos de prova por vez ($\sim 5 \text{ Mpa}$ por corpo de prova). Essa pressão foi selecionada por se aproximar dos valores utilizados pelas indústrias ceramistas da região, que fabricam tijolos maciços via prensagem. Foram conformados corpos de prova em sextuplicatas usando uma prensa hidráulica manual SCHULZ pertencente Laboratório de Caracterização Geral de Resíduos Sólidos (LCGRS) da FCT/Unesp (Figura 12 (a) e 12(b)).

Figura 12: (a) Prensa Hidráulica SCHULZ; (b) Matriz uniaxial.



Fonte: A autora

Os corpos de prova foram medidos e pesados imediatamente após a compactação e, também, depois de permanecerem em estufa a 110°C , por 24h. Posteriormente, os corpos de prova cerâmicos foram submetidos ao processo de sinterização, em que, foram colocados de forma aleatória na mufla e sinterizados em temperaturas de 800, 900, 1000 e 1100°C com taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$, permanecendo no patamar de queima por 1 hora e resfriado naturalmente até a temperatura ambiente. Para o processo de sinterização, foi usada uma Mufla modelo EDG 3000, pertencente ao LCGRS (Figura 13). Após o processo de sinterização os corpos de prova (Figura 14)

foram novamente medidos e pesados usando um paquímetro e uma balança analítica.

Figura 13: Mufla EDG 3000 utilizada para sinterização dos corpos de prova



Fonte: A autora

Figura 14: Corpos de prova após processo de sinterização



Fonte: A autora

4.4 Caracterizações

4.4.1 Análise Textural da Argila

A argila coletada, após seca, moída e peneirada, foi submetida à análise textural para determinar a concentração das frações de areia, argila e silte. O ensaio pode ser feito de duas maneiras, tanto pelo método da Lei de Stokes quanto pelo Método da Pipeta. Neste trabalho, foi adotado o Método da Pipeta que é feito sem a separação das frações de argila e silte (**EMBRAPA, 2017**).

O ensaio foi realizado no Laboratório de Sedimentologia de Solos da FCT/Unesp de Presidente Prudente. A classificação textural das amostras é feita pelo diagrama de classe textural.

Durante o ensaio de textura, uma alíquota do sobrenadante contendo argila, foi retirada e depositada sobre lâmina de vidro para caracterização por difração de raios X da argila orientada.

4.4.2 Difractometria de Raio X

A análise de difração de raio X foi utilizada para identificar os minerais presentes no material argiloso e na areia descartada de fundição através da caracterização de sua estrutura cristalina. Essa análise foi feita no LCGRS da FCT/Unesp, utilizando um equipamento da marca SHIMADZU modelo DRX-6000, com fonte de radiação Cu-K α ($\lambda \sim 1,5444 \text{ \AA}$, radiação característica), e ângulo de varredura de 10° até 80° (2θ).

Ambos os materiais foram analisados na forma de pó. O material argiloso também foi analisado sobre lâmina de vidro orientada, preparada durante o ensaio de textura.

4.4.3 Análise Térmica

A análise térmica é definida como um grupo de métodos pelos quais as propriedades físicas e químicas de um material são medidas como função da variação de temperatura ou tempo, enquanto a temperatura da amostra em estudo, está em atmosfera específica, fica sujeita a uma taxa de aquecimento controlada.

A termogravimetria (TG) registra a perda de massa em relação à temperatura. Essa técnica pode ser usada para acompanhar perdas ou ganhos de massa de um material, ou ainda para qualquer reação de oxidação ou desidratação. A análise térmica diferencial (DTA) fornece temperatura em que a reação está acontecendo e calorimetria exploratória de varredura (DSC) mede a variação do fluxo de calor durante a reação nesta temperatura **(MOTHÉ E AZEVEDO, 2009)**

As amostras de argila e ADF, foram submetidas aos ensaios simultâneos de análise térmica. As amostras foram tratadas em um intervalo de temperatura de 25°C à 1200°C com taxa de aquecimento a 10°C.min⁻¹. Utilizou-se uma massa de, aproximadamente, 13 mg, em um cadinho de alumina, tomando como referência outro cadinho de alumina vazio, ambos em atmosfera de ar, com fluxo de 100ml/min. Para a caracterização, foi utilizado um equipamento TA Instruments (SDT Q-600) pertencente ao LCGRS da FCT/Unesp de Presidente Prudente.

4.4.4 Análise Química por Fluorescência de Raios X

A Fluorescência de raios X (FRX), foi utilizada determinar a composição química (qualitativa e quantitativa) na forma de óxidos ou elementos. Esta caracterização foi realizada no LCGRS da FCT/Unesp utilizando um equipamento Shimadzu, EDX-7000. Ambos os materiais (argila e ADF) foram analisadas, sem vácuo, na forma de pó, em substratos de poliéster biaxialmente-orientado de poli(tereftalato de etileno) (boPET, Mylar®) com área analisada de, aproximadamente, 80 mm².

4.4.5 Ensaios Físicos e Mecânicos

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados nos corpos de prova cerâmicos sinterizados. Todos os ensaios foram realizados seguindo o procedimento descrito por **Santos (1989)**.

Massa Específica Aparente

A massa específica aparente, ou seja, a densidade aparente de um corpo corresponde à massa por unidade de volume. Porém, esse ensaio é dividido em duas etapas: na primeira, o volume é chamado de aparente, pois inclui espaços vazios no material. Nesta etapa, o volume (V_a) é determinado pelo método geométrico, ou seja, pela multiplicação de suas dimensões (comprimento, largura e altura) e, por isso, é chamado de volume aparente, medido em centímetros cúbicos. A massa (m_s) é aquela do corpo de prova após secagem em estufa de unidade dimensional grama. Logo, a massa específica aparente de secagem (MEAs) é obtida por meio da equação 1.

$$MEA = \frac{m_s}{V_a} \quad (1)$$

Na segunda parte da determinação da densidade aparente, foi utilizado o “Princípio de Arquimedes”, que explica como os fluídos respondem à presença de objetos neles imersos (**HALLIDAY, 2003**). Nesse método, os corpos de prova são imersos em água destilada em ebulição por 2 horas. Depois, são deixados a esfriarem por 22 horas, completando 24 horas de saturação. Após o resfriamento, os corpos de prova são pesados na balança hidrostática a fim de obter-se o valor da massa imersa (m_i). Posteriormente, sem um excesso de água em sua superfície, os corpos de prova são pesados na balança analítica para obtenção da massa úmida (m_u). Em posse dos valores de massa imersa, massa úmida e massa seca em estufa (m_s), obtém-se a massa específica aparente de queima (MEAQ) por meio da equação 2.

$$MEAQ = \frac{m_s}{(m_u - m_i)} \quad (2)$$

A obtenção da massa imersa (m_i), pelo processo da balança hidrostática, também é baseada no Princípio de Arquimedes sobre o empuxo (E). Para tanto, acopla-se à balança analítica alguns acessórios, conforme mostra a Figura 15.

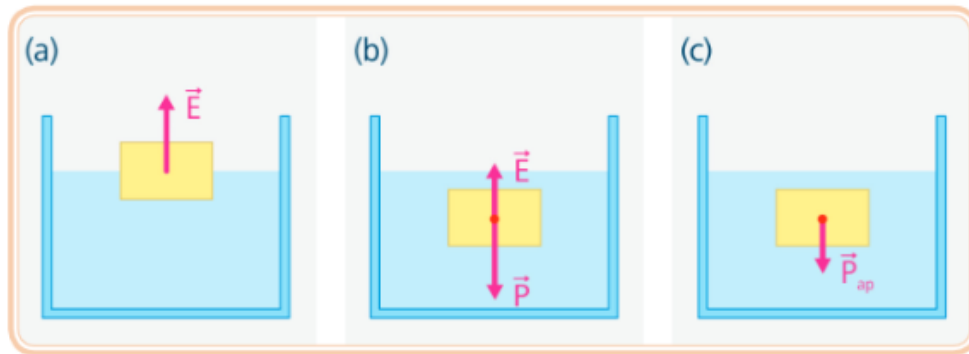
Figura 15: Esquema de funcionamento da balança hidrostática.



Fonte: A autora

De acordo com o princípio de Arquimedes, todo corpo, total ou parcialmente, imerso em um fluido em equilíbrio, recebe desse fluido, uma força vertical direcionada para cima, com intensidade igual ao peso do fluido deslocado, devido à imersão do corpo em seu interior (**HALLIDAY, 2003**). A Figura 16 mostra as possíveis posições do corpo e as forças nele atuante, de acordo com o Princípio descrito acima.

Figura 16: Representação das forças que agem no corpo parcialmente imerso e submerso.



Fonte: Física aplicada para edificações - Edio da Costa Junior.

Pode-se observar, portanto, por meio da Figura 16, a representação do empuxo que atua sobre um corpo parcialmente imerso em um líquido. Sobre esse corpo, também atua seu peso, não mostrado na Figura 16 (a). Na Figura 16 (b) nota-se as duas forças que agem sobre um corpo totalmente submerso: seu peso e o empuxo do líquido. E na Figura 16 (c) é mostrado o peso aparente do corpo, que é resultante do seu peso real e do empuxo sofrido. O empuxo (E), pode ser determinado por meio da equação 3, na qual, P_u é o peso úmido e P_i é o peso imerso.

$$E = P_u - P_i \quad (3)$$

Pode-se perceber que, além disso, $(m_u - m_i)$ da equação 2 corresponde ao volume aparente (V_a). Esse volume aparente do corpo de prova em estudo, foi obtido de forma indireta, com base no Princípio de Arquimedes, calculado conforme as equações de 4 a 8.

$$E = u_f \cdot V_{fd} \cdot g \quad (4)$$

Sendo:

μ_f = densidade do fluido (em g/cm³);

V_{fd} = volume aparente do corpo de prova, que é numericamente igual ao volume do fluido deslocado pelo corpo de prova saturado e submerso (em cm³).

g = aceleração da gravidade local onde o experimento foi realizado.

A equação 4 pode ser reescrita, obtendo-se a equação 5.

$$V_{fd} = \frac{E}{\mu_f \cdot g} \quad (5)$$

Os pesos úmido e imerso, são obtidos pelas equações 6 e 7.

$$P_u = m_u \cdot g \quad (6)$$

$$P_i = m_i \cdot g \quad (7)$$

Tomando a densidade do fluido como sendo a da água, líquido utilizado no ensaio, $\mu_f = 1\text{g/cm}^3$, tem-se a equação 8.

$$V_{fd} = (m_u - m_i) = V_a \quad (8)$$

Portanto, a massa específica aparente (MEA) pode ser calculada utilizando a equação 2, descrita anteriormente.

Absorção de Água

A taxa percentual da absorção de água também é obtida com base no Princípio de Arquimedes, pois se utiliza a massa úmida (m_u) dos corpos de prova (Cp).

Primeiramente determinou-se a massa seca dos corpos de prova, depois eles foram colocados dentro de um recipiente (panela alumínio) com água deionizada e fervidos durante 2 horas, como mostra a Figura 17.

Figura 17: Corpos de prova imerso.



Fonte: A autora

Após transcorrido esse tempo os corpos de prova ficaram imersos por mais 22 horas. Em seguida, retirou-se o excesso de água de cada corpo de prova e pesou-se em uma balança analítica (Shimadzu) para obtenção da massa úmida (m_u). O mesmo corpo de prova foi pesado imerso em água para determinação da massa saturada de água (massa imersa (m_i)). A massa seca (m_s) é aquela obtida após a secagem do corpo de prova em estufa a 110°C, anterior à queima.

A taxa de absorção de água (AA) pode, portanto, ser determinado pela equação (9) (MENDONÇA, 2015)

$$AA(\%) = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \cdot 100 \quad (9)$$

Porosidade Aparente

A porcentagem de porosidade aparente é determinada pela razão entre o volume de poros abertos (V_{pA}), ou seja, a diferença entre a massa úmida (m_u) e seca (m_s) pelo volume aparente (V_a) ($m_u - m_i$), podendo, ambos, serem medidos em centímetros cúbicos. Desse modo, utiliza-se a equação (10) para determinação da porosidade aparente (PA).

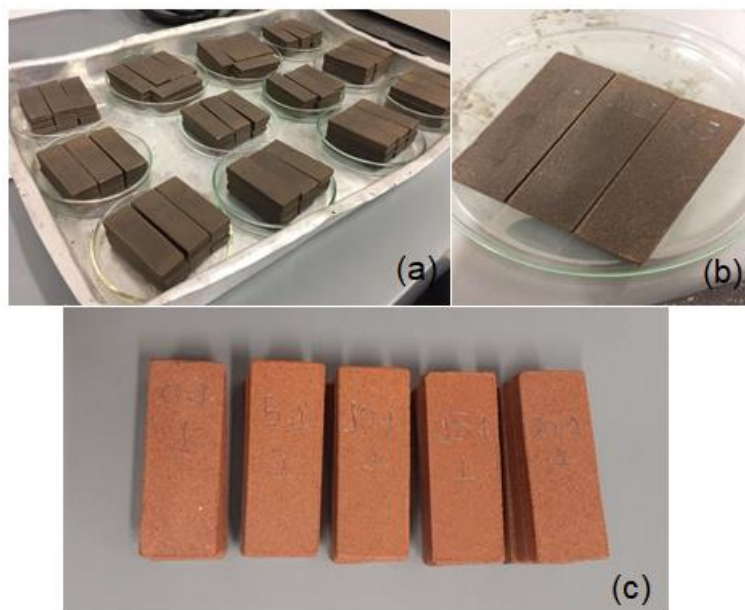
$$PA(\%) = \frac{V_{pA}}{V_a} = \frac{(m_u - m_s)}{(m_u - m_i)} \cdot 100 \quad (10)$$

Todos os ensaios descritos acima foram feitos no LCGRS da FCT/Unesp de Presidente Prudente.

Retração Linear de Queima

A retração linear pode ser de secagem, de queima (após a sinterização) ou total, envolvendo as duas anteriores. A retração linear de queima (RLq) é obtida mediante as medidas dos comprimentos dos corpos de prova após prensagem, após secagem e após queima, que fornecem a variação no comprimento da amostra. A Figura 18 mostra os corpos de prova após prensagem, após secagem e após queima, os quais tiveram seus comprimentos medidos para determinação da RLq.

Figura 18: (a) Cp após prensagem, (b) Cp após secagem e (c) Cp após queima.



Fonte: A autora.

No ensaio de RLq, determina-se a variação percentual das dimensões lineares dos corpos de prova, usando a equação 11.

$$RLq(\%) = \frac{C_s - C_q}{C_s} \cdot 100 \quad (11)$$

Sendo:

C_s : o comprimento do corpo de prova seco em estufa.

C_q : o comprimento do corpo de prova após a queima.

Perda de Massa ao Fogo

A perda de massa ao fogo (PMF) diz respeito à diminuição percentual da massa do corpo de prova queimado (m_q) em relação à massa do corpo de prova seco em estufa (m_s). Assim, a equação (12) permite a obtenção desses valores.

$$PMF = \frac{m_s - m_q}{m_s} \times 100 \quad (12)$$

Sendo:

M_s : massa do corpo de prova seco em estufa.

M_q : massa do corpo de prova após a queima.

Módulo de Ruptura a Flexão

O módulo de ruptura à flexão (MRF) em três pontos, conforme recomenda a norma NBR 15270:2017, submete-se um corpo de prova, com dimensões definidas, a uma taxa constante de aumento de carga sob flexão de três pontos, para determinar a tensão máxima que o corpo de prova pode suportar (**BARROS, 2013**). Essa tensão depende da distribuição granulométrica e da composição mineralógica da argila. O MRF pode ser obtido mediante à equação 13.

$$MRF = \frac{3PL}{2bh_m^2} \quad (13)$$

Sendo:

P : a carga atingida no momento da ruptura (kg);

L : a distância entre os apoios do corpo de prova (m);

b : a largura do corpo de prova (m);

h_m : a altura média do corpo de prova, isto é, sua espessura (m).

Os valores obtidos para o MRF (equação 13), foram determinados automaticamente durante o teste, com o uso de uma máquina universal de ensaios (EMIC), Figura 19. O programa utilizado permite obter, no final de cada ensaio, os valores de MRF dados em kgf/cm² ou em MPa, bem como, a intensidade da força que rompeu o corpo de prova, em kgf ou N. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente.

Figura 19: Equipamento de Módulo de Ruptura a Flexão de três pontos.



Fonte: A autora

5 Resultados e Discussões

5.1 Textura da Argila

A Tabela 2 mostra os resultados da análise textural da argila pura utilizada neste trabalho. Observa-se a presença de 54.6% de argila, (um percentual parcialmente alto de material plástico, $< 2\mu\text{m}$), 27.68 % de areia e 17.72% de silte (materiais não plásticos).

Tabela 2: Análise Textural.

Granulometria	Fração	Porcentagem (%)
$>20\mu\text{m}$	Areia	27.68
$< 2\mu\text{m}$	Argila	54.60
$2\mu\text{m} - 20\mu\text{m}$	Silte	17.72

Fonte: A autora

De acordo com o diagrama granulométrico de Winkler, estes resultados mostram que este material possui alta qualidade, porém apresenta dificuldade de produção devido ao alto percentual de argila (**PRACIDELLI e MELCHIADES, 1997**). Por isso, é necessária a mistura deste material com outro, contendo um material não plástico, e/ou com outro material argiloso, contendo menor concentração de argila. Em geral, este processo é comumente realizado para melhorar a trabalhabilidade para fabricação das peças cerâmicas nas indústrias.

5.2 Análise Química da Argila e ADF.

A Tabela 3 mostra os resultados quali-quantitativos da análise química por fluorescência de raios X (FRX) da argila pura e da ADF. Para a argila, observa-se um percentual majoritário de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Estes componentes estão associados às estruturas dos argilominerais, quartzo e feldspatos, que estão presentes na argila. O Fe_2O_3 é o principal responsável pela cor avermelhada do material após o processo de sinterização (**SANTOS, 2016**). O percentual elevado de perda ao fogo (P.F.) está associado à presença de matéria orgânica, muito comum nas argilas e, também, à perda de hidróxidos que compõem os argilominerais.

A ADF possui, também, SiO_2 como óxido majoritário seguido do Al_2O_3 e Fe_2O_3 com os maiores teores, dentre os óxidos minoritários. O SiO_2 e Al_2O_3 , neste caso, está relacionado aos constituintes da areia. O percentual de P.F. pode estar relacionado à presença de materiais voláteis, como, por exemplo, a resina fenólica, o pó de carvão e até mesmo à presença de argila, que compõem a massa para produção dos moldes. Já o Fe_2O_3 pode estar relacionado ao tipo de material fundido no molde.

Tabela 3: FRX da argila pura e ADF.

Óxidos (%)	Argila	ADF
SiO_2	51,10	87,17
Al_2O_3	20,39	2,10
Fe_2O_3	7,68	1,08
SO_3	--	0,65
CaO	0,78	0,36
TiO_2	1,90	0,18
K_2O	1,25	0,05
MnO	0,11	0,02
CuO	0,02	0,02
ZrO_2	0,4	0,02
ZnO	0,01	0,01
V_2O_5	0,07	--
Cr_2O_3	0,05	--
SrO	0,04	--
NbO	0,01	--
Y_2O_3	0,01	--
PF	16,56	8,37

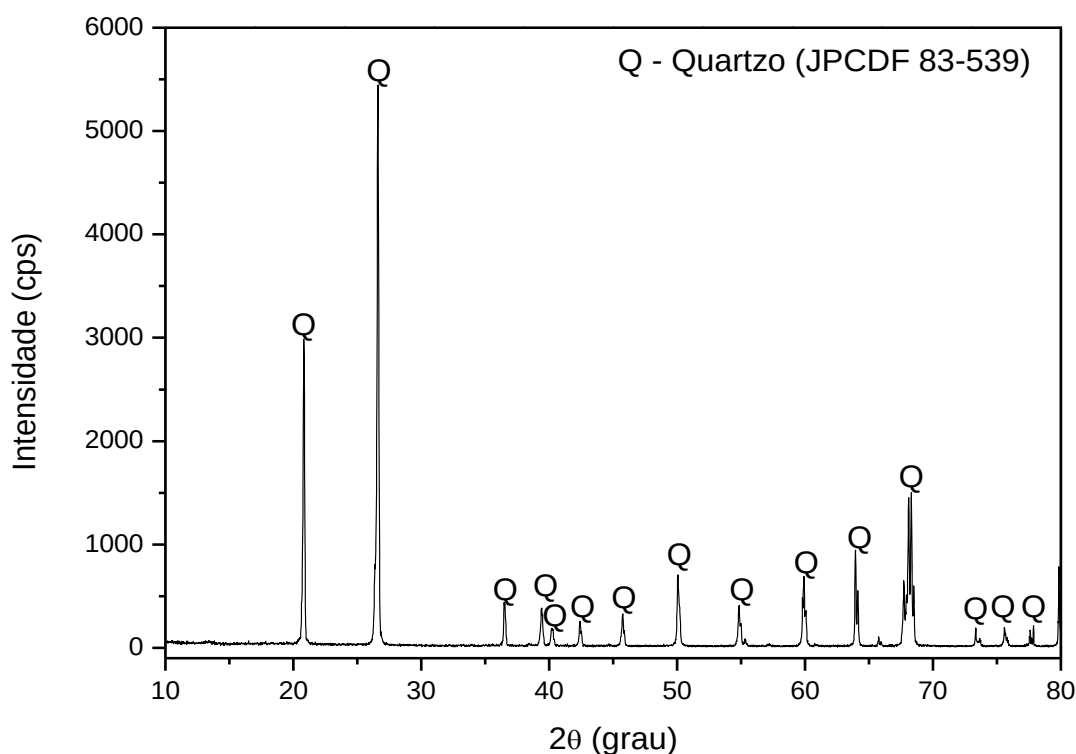
Fonte: A autora

5.3 Difração de Raios X (DRX) das amostras de ADF e Argila

5.3.1 DRX da ADF

A Figura 20 mostra os resultados do DRX da ADF. Os resultados mostram que a fase majoritária é o quartzo (SiO_2 – JPCDF 83-539). Este resultado corrobora com os resultados de FRX para esta amostra que mostrou o SiO_2 como componente majoritário. No trabalho de **Frasson (2012)** também foi identificado quartzo na ADF. Entretanto, os autores também encontraram a fase residual tridimita, pois como nos moldes de fundição apenas uma parte da areia é aquecida por vez, com temperaturas acima de 867°C por um curto período de tempo, apenas uma certa quantidade de grãos de areia tem possibilidade de transformar-se em tridimita e ou cristobalita. Contudo, neste trabalho estas fases não foram identificadas no difratograma da ADF, embora elas possam estar presentes em pequena quantidade, que não aparecem no difratograma.

Figura 20: Difratograma de raios X da ADF.

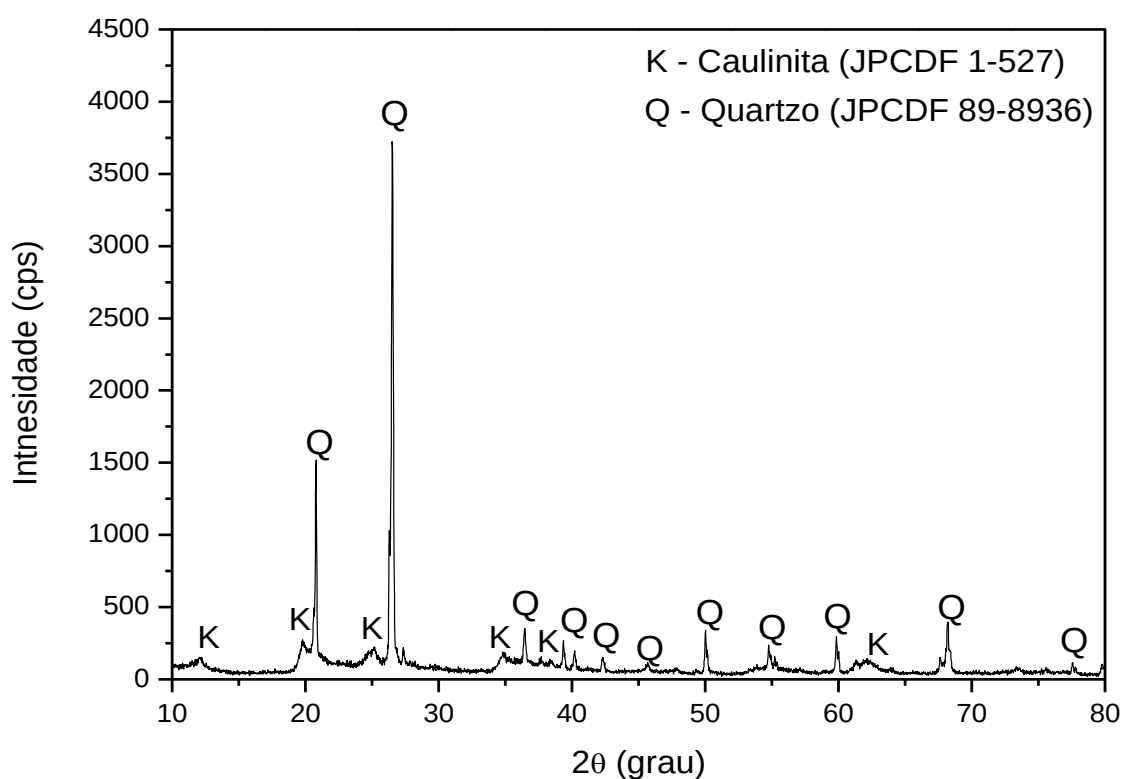


Fonte: A autora

5.3.2 DRX da Argila em pó

A Figura 21 mostra os resultados de DRX da argila em pó. Foram identificados picos correspondentes ao quartzo (JPCDF 89-8936) e o argilomineral caulinita (JPCDF 1-527). Como mencionado anteriormente, a caulinita é um silicato de alumínio hidratado, muito comum na composição mineralógica das argilas encontradas na região oeste do estado de São Paulo, situado sobre a bacia sedimentar do rio Paraná. As argilas utilizadas pelas indústrias cerâmicas dessa região são provenientes da várzea do rio Paraná, antes do alagamento decorrente da implantação da usina hidrelétrica de Porto Primavera (**Motta, 1993**). A identificação do quartzo e da caulinita concordam com os resultados de FRX, que mostram o SiO_2 e Al_2O_3 como componentes majoritários nesta amostra. Estes óxidos compõem a estrutura cristalina do quartzo (SiO_2 , com estrutura hexagonal) e da caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ com estrutura triclinica). Embora o Fe_2O_3 tenha sido quantificado pela técnica de FRX, em um percentual de 7,68% da amostra, não foi observado nenhum pico característico de difração de raios X correspondentes à uma fase cristalina contendo este óxido no material natural. Isso indica que o Fe_2O_3 pode se apresentar em uma fase cristalina pouco presente no material natural, cujos picos de difração coincidem com picos de outras fases predominantes, como o quartzo, ou o íon Fe pode fazer parte da estrutura/composição química dos argilominerais presentes minoritariamente na argila.

Figura 21: Difratograma de raios X da argila em pó.



Fonte: A autora

5.3.3 DRX da Argila em lâmina de vidro

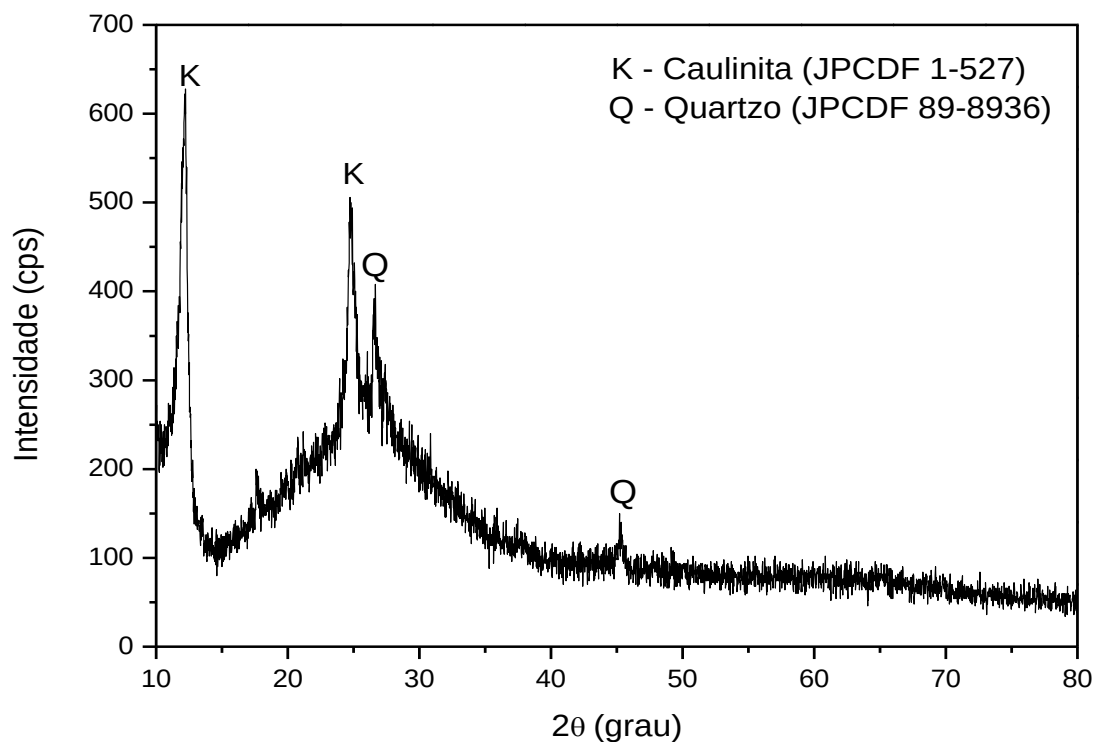
Para confirmar o tipo de argilomineral presente na argila, foi feita uma análise de DRX em uma amostra depositada em lâmina de vidro. Para isso foi retirada uma alíquota durante o ensaio de textura. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 22.

Foi observada a presença de dois picos correspondentes ao argilomineral caulinita, idêntica àquela identificada no material em pó. Também estão presentes alguns picos de quartzo. A banda amorfa que aparece em torno de $2\theta = 30^\circ$ corresponde ao substrato de vidro, tendo em vista que a camada de argila depositada era fina, permitindo registrar o DRX da lâmina de vidro. Este resultado corrobora com aqueles apresentados por **Teixeira (2001)**. Os autores já haviam mostrado que o argilomineral predominante em diversas argilas da região do Oeste Paulista possuem, predominantemente, a caulinita como em sua composição.

Motta (2004) descreve que a formação da caulinita $(Al_2(Si_2O_5)(OH)_4)$ se dá pela alteração intempérica de regiões de clima quente e úmido, similar com a

caulinita detectada na análise deste trabalho. Pelo fato de a região ter uma intensa passagem de água, com temperatura e acidez propícia, acaba favorecendo a alteração de minerais aluminosilicatos e sua transformação em caulinita, que é um mineral considerado estável em tais circunstâncias.

Figura 22: Difratoograma de raios X da argila em lâmina.



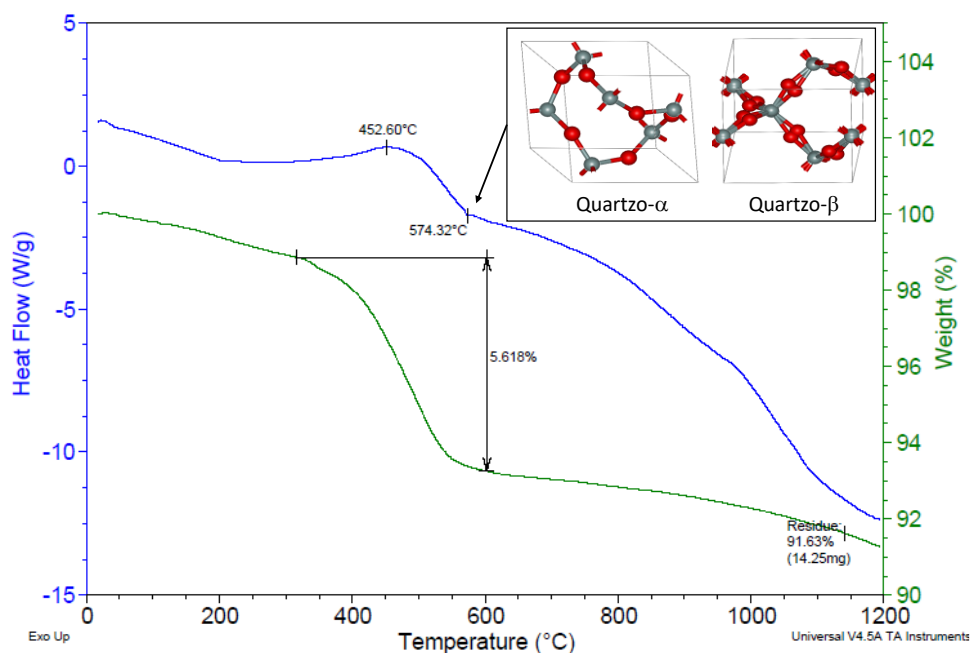
Fonte: A autora

5.3.4 Análise Térmica da ADF e da Argila

A Figura 23 mostra a análise térmica (DSC e TG) da ADF. No TG é observada uma perda de massa de 5,6%, associada a um pico exotérmico do DSC em torno de 452°C. Esta reação corresponde à degradação da resina fenólica que auxilia na composição da areia para confecção dos moldes utilizados na empresa de fundição (**SCHEUNEMANN, 2005**). Também foi observado um pico endotérmico em torno de 574°C correspondente à transição reversível do quartzo- α para o quartzo- β . Nessa temperatura, sua estrutura sofre

uma leve rotação dos tetraedros de silício, como pode-se observar no *insert* da Figura 23.

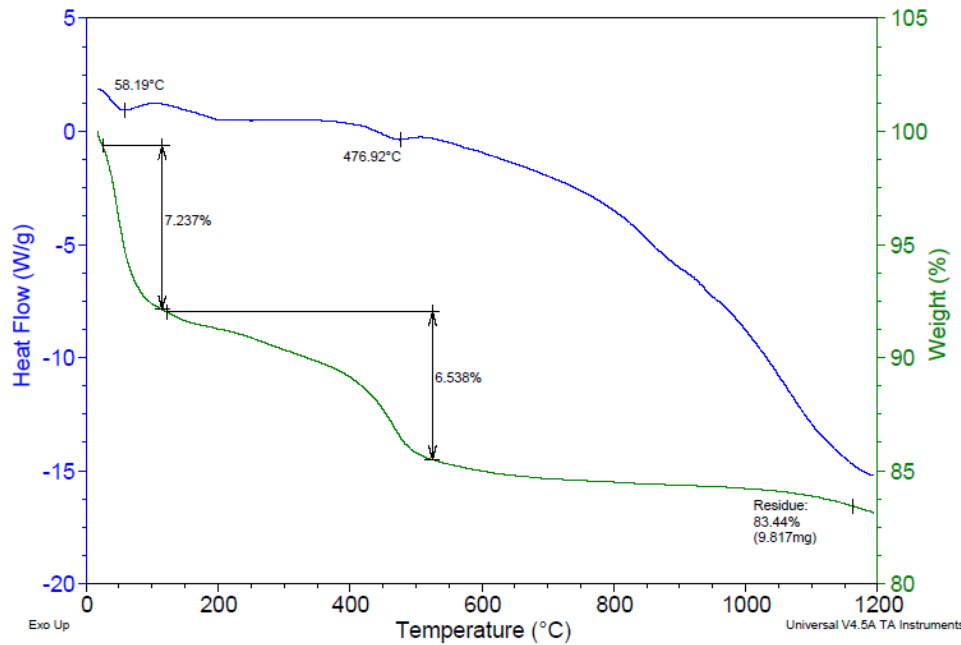
Figura 23: Termograma de DSC e TG da ADF.



Fonte: A autora

A Figura 24 mostra os resultados de DSC e TG da argila. São observadas duas perdas de massa significantes. A primeira está relacionada à perda de umidade da amostra, que, por sua vez, está associada a um pico endotérmico em torno de 58°C. Na segunda, próximo a 476°C, ocorre uma perda de massa maior devido à dissociação da água de constituição, ou seja, à perda das hidroxilas que compõe o argilomineral caulinita. Pode-se observar que esta perda de massa está associada ao pico endotérmico nesta mesma região de temperatura, na curva de DSC.

Figura 24: Termograma de DSC e TG da Argila.



Fonte: A autora

5.3.5 Ensaios Físicos e Mecânicos dos corpos de prova

Retração Linear de Queima (RLq)

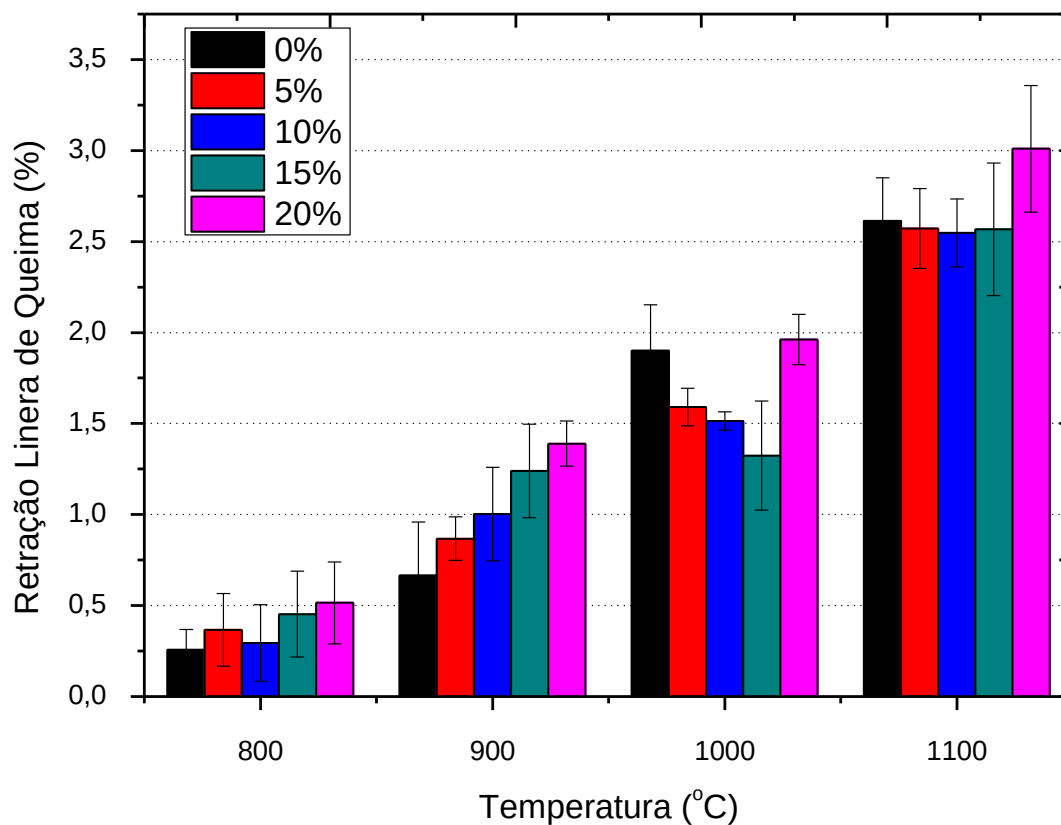
A Figura 25 mostra a retração linear de queima (RLq) dos corpos de prova em diferentes temperaturas. De forma geral, a RLq aumenta de acordo com a temperatura de sinterização. Observa-se que, para a temperatura de sinterização até 900°C, há um ligeiro aumento da retração linear com a adição do resíduo, o que não ocorre para as demais temperaturas. Por outro lado, com o aumento da temperatura de sinterização para 1000 e 1100°C, observa-se que a retração linear é mais evidente para todas as amostras, chegando a 3% para a amostra com 20% de ADF à temperatura de 1100°C.

Porém, considerando-se o desvio padrão, as amostras estão dentro de uma faixa abaixo do limite máximo estabelecido pela norma da ABNT NBR-15270, que recomenda uma RLq de 12% para blocos e tijolos para alvenaria (**ABNT, 2017; FRASSON, 2012**).

A realização deste ensaio mostra a retração que os produtos sofrem após secagem e queima e, como consequência, a eliminação de água utilizada para a formação e modelagem do produto (**FERRARI, 2007**). Cabe ressaltar que, com

o aumento da temperatura a retração linear tende a aumentar, devido à maior eficiência na difusão e, posteriormente, à formação de uma fase líquida.

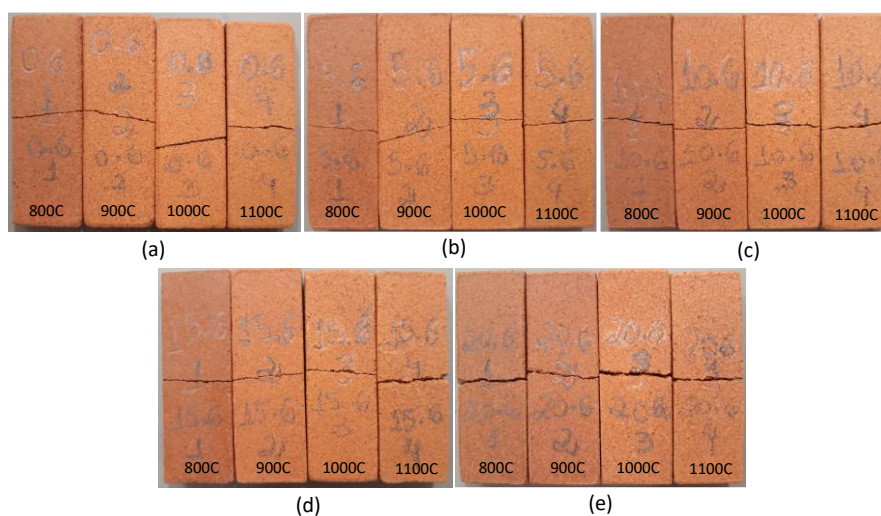
Figura 25: RLq em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.



Fonte: A autora

A Figura 26 mostra os corpos de prova após o processo de sinterização. É possível observar pouca variação na retração dos corpos cerâmicos sinterizados e uma suave diferença na coloração das peças, tornando-se levemente mais claras para as temperaturas de 1000°C à 1100°C.

Figura 26: Retração linear de queima em função do teor de ADF incorporado: (a) 0%; (b) 5%; (c) 10%; (d) 15% e (e) 20%

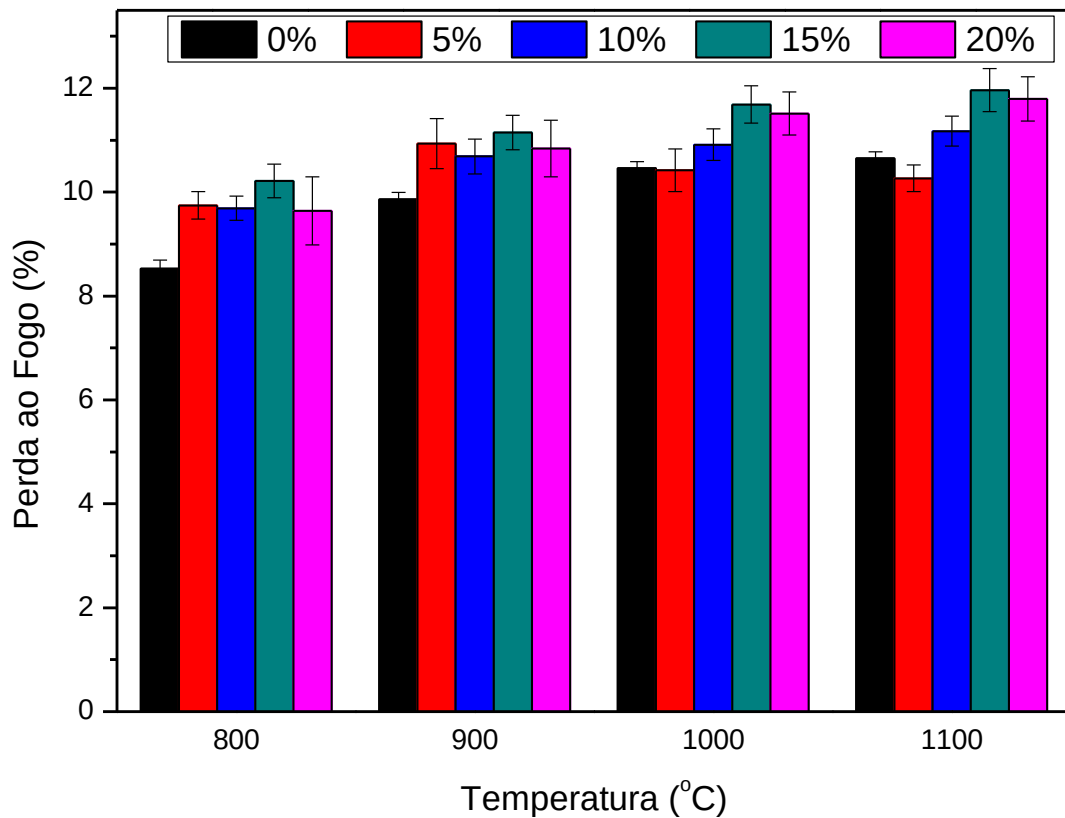


Fonte: A autora

Perda ao Fogo (PF)

A perda ao fogo (PF) está associada à umidade das amostras e a perda de hidroxilas dos hidróxidos de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (**JUNIOR, 2019**). Esse fenômeno também pôde ser observado nas discussões sobre a análise térmica da argila pura, no tópico 5.3.4. Contudo, com a incorporação de ADF ao material argiloso, verifica-se (Figura 27) que a amostra com 15% de resíduo incorporado apresentou a maior porcentagem de PF, atingindo valor de 11,8%. A amostra com o menor percentual de PF foi aquela com 5% de ADF incorporada, atingindo o valor de 10,2% em 1100°C.

Figura 27: Perda ao fogo das amostras com resíduo incorporado.



Fonte: A autora

Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA)

A Figura 28 mostra a porosidade aparente (PA) das amostras sinterizadas. É observado que de 800°C para 900°C ocorre um ligeiro aumento na PA e de 900°C para 1000°C ocorre pouca variação no percentual da porosidade para todas as amostras. Entretanto, observa-se que, nestas duas últimas temperaturas, a adição de ADF diminui a PA nas amostras, quando comparadas à amostra padrão (0%). Para a temperatura de sinterização de 1100°C, a variação percentual da PA é maior, mostrando uma considerável diminuição para todas as amostras.

A diminuição da porosidade pode ser associada ao início do processo de sinterização, em que se inicia a formação de “pescoços” por difusão das partículas em contato (coalescência). Esse processo ocorre, principalmente, devido aos componentes pertencentes à argila (argilominerais) que sofrem um processo de transformação durante o aquecimento, podendo formar uma fase líquida, liberando íons e/ou elementos que passam a se difundirem entre as

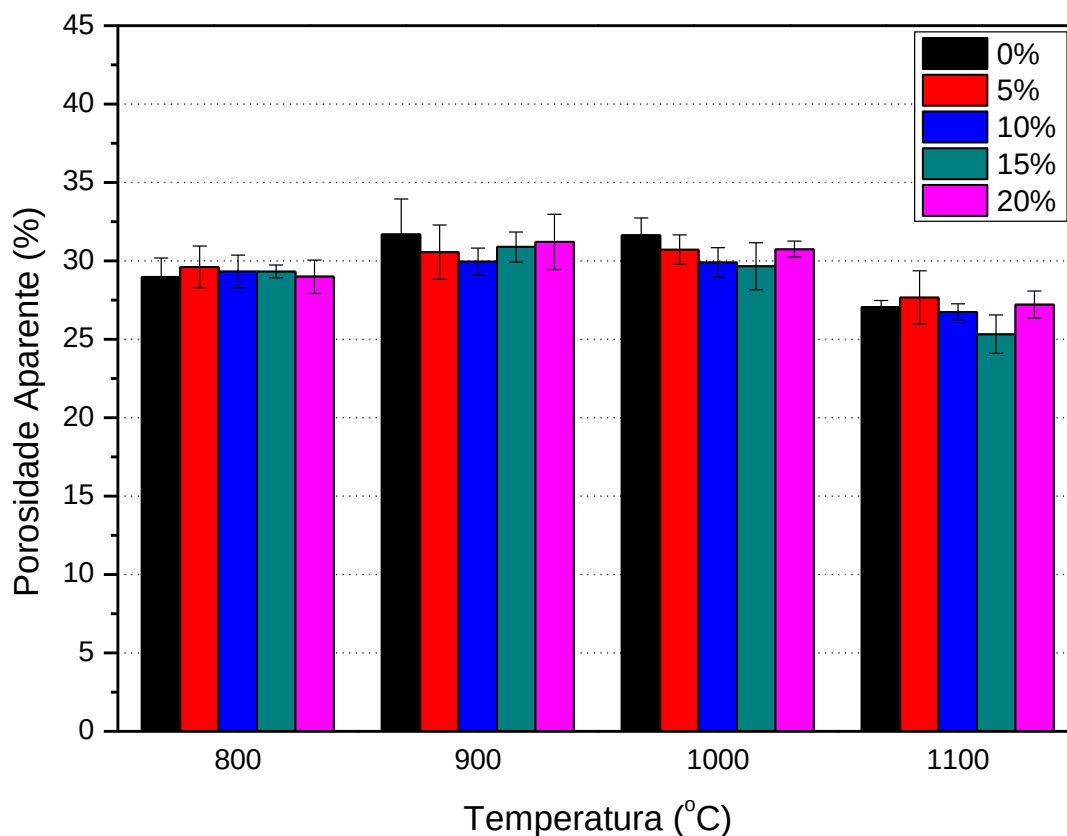
partículas empacotadas (em contato), preenchendo os espaços vazios ao redor, que, conseqüentemente, é observado na diminuição da porosidade aparente.

No trabalho de **Cúnico (2015)**, a PA também diminui para os corpos de prova sinterizados a 1000°C. Os autores atribuem essa variação ao efeito de compactação resultante da mudança na distribuição granulométrica do resíduo incorporado na matriz cerâmica. Entretanto, para nosso caso, tanto o material argiloso, quanto a ADF foram peneiradas em peneiras de mesma abertura (0,59mm). Porém, isso não garante uma distribuição homogênea dos grãos, tendo em vista que a areia e a argila possuem, naturalmente, tamanhos distintos de grão. Portanto, essa diferença de tamanho de grãos também pode ter contribuído para um melhor empacotamento e, conseqüentemente, para uma melhor difusão que preencheu os alguns poros na temperatura de 1100°C.

Embora a porosidade diminua à 1100°C, observamos que essa diminuição é menor que 5% para todas as amostras, em relação às demais temperaturas de sinterização. Este resultado prevê que a formação de fase líquida na temperatura de 1100°C pode não ter sido suficiente para preenchimento de toda a porosidade aberta nas amostras, resultado este, que influenciará diretamente na resistência mecânica dos corpos de prova.

Nos trabalhos de **Souza et al (2011) e Souza et al (2013)**, em que foram utilizados materiais desplastificantes ricos em quartzo como fase predominante, adicionados à matriz cerâmica, foi observada uma diminuição da ordem de 30% na PA, contribuindo com o aumento de, aproximadamente, 13% do MRF em função da temperatura de sinterização. Os autores relacionaram a diminuição da porosidade e conseqüente aumento do MRF, à formação de fase líquida e, em maiores temperaturas, à formação da fase mulita.

Figura 28: PA em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.

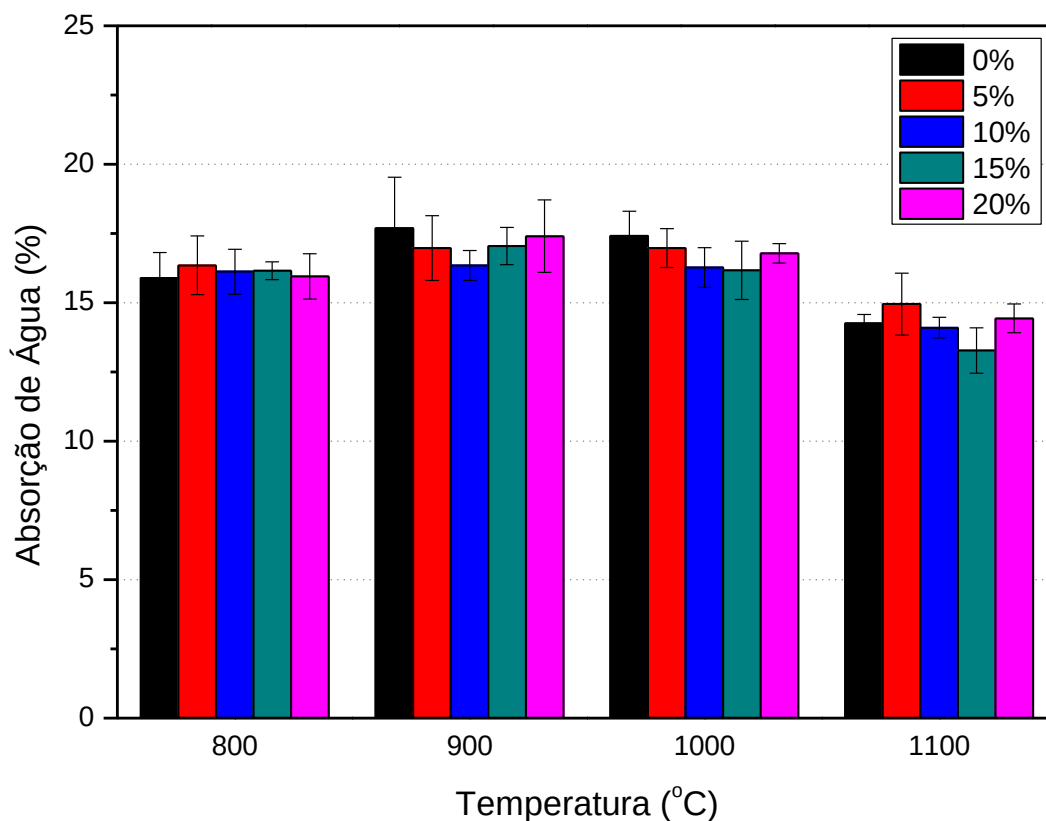


Fonte: A autora

Os resultados de absorção de água (AA), mostrados na Figura 29 concordam com os resultados de PA, ou seja, quanto menor a porosidade, menor é a AA. Note que o comportamento dos gráficos PA e AA são similares, e que a adição de ADF também melhora as condições de AA para as amostras sinterizadas a partir de 900°C. Este comportamento é comum em materiais cerâmicos cuja matéria prima é constituído do argilomineral caulinita.

O maior valor de AA observado é para amostra com 0% sinterizada a 900°C (~17,5%) e o menor valor encontrado foi para a amostra com 15% de ADF incorporada, sinterizada a 1100°C (~13,2%), embora todas as outras amostras apresentem valores próximos, dentro de uma margem de erro determinado. Estes valores estão no intervalo estabelecido pela NBR 15270/2017 para fabricação de blocos ou tijolos para alvenaria, com AA variando de 8 a 25%.

Figura 29: AA em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.



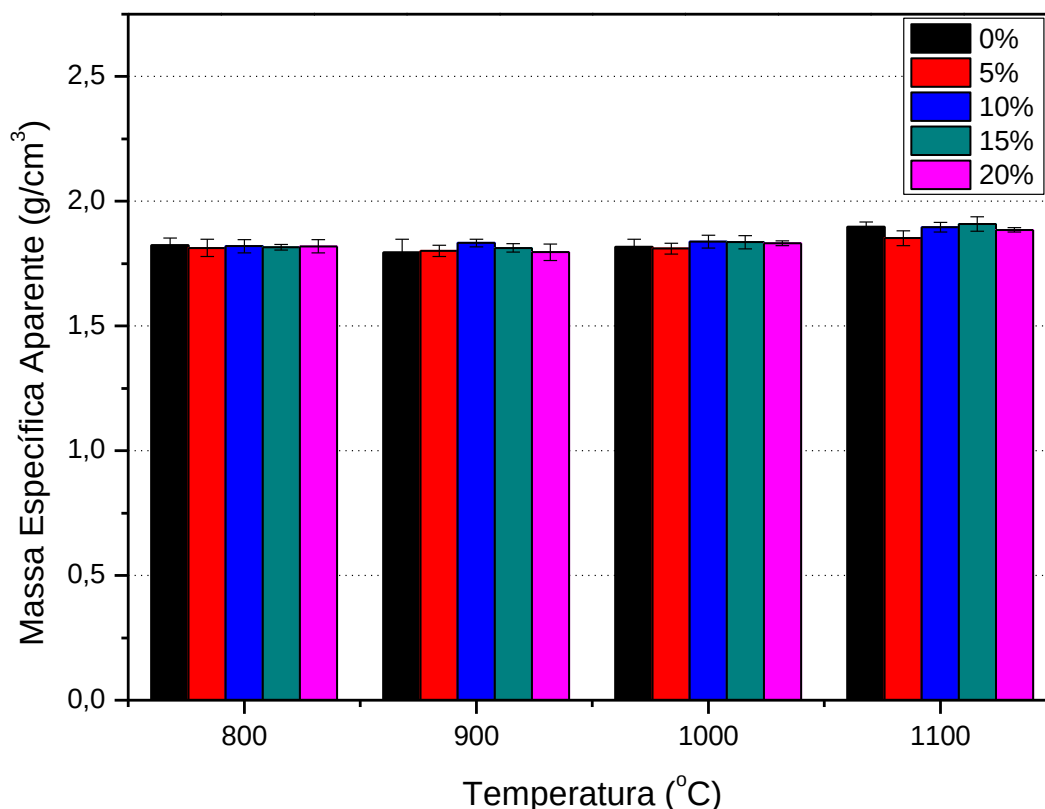
Fonte: A autora

Massa Específica Aparente (MEA)

A Figura 30 mostra a massa específica aparente (MEA) dos corpos de prova sinterizados em diferentes temperaturas. Considerando a margem de erro, todos os percentuais de ADF incorporados resultam em MEA com valores próximos aos da amostra padrão (0% de ADF incorporada). Os melhores resultados encontrados foram aqueles para as amostras sinterizadas a 1100°C, com valores em torno de 1,9 g/cm³, para as quais, este ligeiro aumento não passou de 0,1 g/cm³ em relação às amostras sinterizadas a 800°C. De acordo com trabalhos da literatura, os valores de MEA recomendados para produção de blocos cerâmicos devem estar na faixa de 1,7 a 2,2% (**SILVA, 2016**).

De maneira geral, o comportamento da MEA corrobora com os demais ensaios realizados, ou seja, quanto menor a PA, menor a AA e maior a MEA.

Figura 30: MEA em função da temperatura das amostras com ADF incorporadas.



Fonte: A autora

Módulo de Ruptura à Flexão de três pontos (MRF)

A Figura 31 mostra os resultados obtidos no ensaio de MRF. Pode-se observar que a amostra piloto e a amostra com adição de 5% apresentam os melhores resultados de MRF, variando de 3 a 4 MPa. Pode-se observar, também, que em 1100°C, as amostras apresentam uma leve redução nos valores de MRF, indicando que o processo de sinterização pode ter sido incipiente.

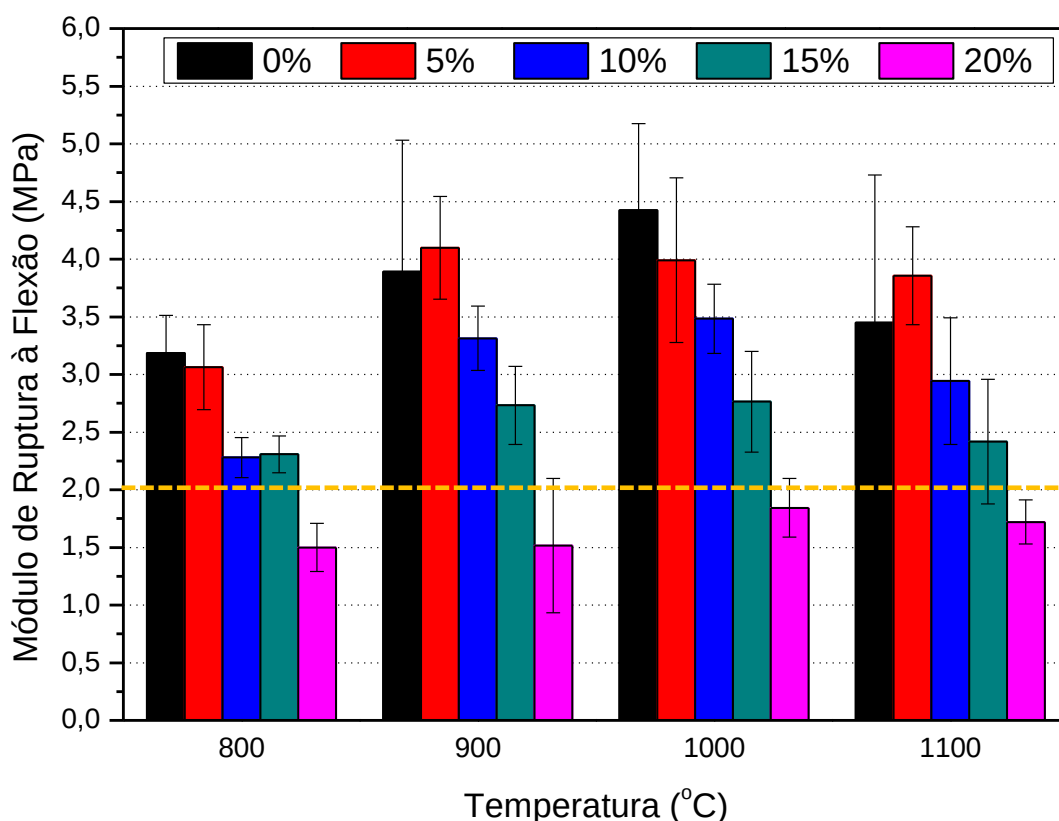
Este resultado discorda, aparentemente, daqueles obtidos para a PA, AA e MEA. Em outras palavras, com a diminuição da porosidade e, consequentemente, da AA em 1100°C, o MRF deveria aumentar para esta temperatura de sinterização. Entretanto, não é o que se observa. Este comportamento pode estar relacionado à presença das partículas de quartzo na amostra, incluindo a amostra padrão (0%). A presença o quartzo pode contribuir com a formação de uma porosidade fechada, ou seja, uma porosidade gerada em torno dos grãos. A formação da porosidade fechada pode ser explicada pela diferença de expansão térmica entre os grãos de areia (quartzo) e a matriz na

qual estão inseridos, durante o processo de resfriamento da amostra **(BRAGANÇA, 2004)**.

Entretanto, embora os valores do MRF tenham apresentado decréscimo com a incorporação do resíduo, ainda é viável a incorporação da ADF no material argiloso, pois todos os valores encontrados, com até 15% de resíduo, estão dentro dos limites estabelecido pela literatura, que recomenda uma variação do MRF de 2 a 6 MPa para fabricação de blocos cerâmicos, cujo limite inferior está indicado pela linha tracejada na Figura 31 **(SANTOS, 1989)**.

No trabalho de **Paludo (2017)**, em que também foi incorporada ADF em cerâmica vermelha, os resultados foram semelhantes ao nosso trabalho. Os autores mostraram que a resistência do material diminui conforme aumenta-se o teor de ADF e, também, com o aumento da temperatura de queima. No trabalho de **Ferrari (2007)**, foi incorporado o resíduo de lodo da ETA na argila para produção de cerâmica vermelha. Os melhores resultados para o MRF foram para as amostras de 0% e 5% de resíduo incorporado. Para teores acima de 5% de lodo de ETA, foi observada uma redução na resistência.

Figura 31: MRF em função da temperatura das amostras com ADF incorporada.



Fonte: A autora

6 Análise Química das Amostras Sinterizados

A Tabela 4 mostra os resultados quali-quantitativos da análise química realizada por FRX nos corpos de prova sinterizados a 800°C. Nota-se que há uma predominância do óxido de silício (SiO_2) para todas as amostras, seguido dos óxidos de alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3), titânio (TiO_2), potássio (K_2O) e cálcio (CaO). Considerando os resultados quantitativos destes óxidos, observa-se que há uma coerência com aqueles apresentados individualmente pela ADF e pela argila, como discutido no item 5.2. Outros óxidos minoritários somam menos que 0,1% em todas as amostras.

Tabela 4: FRX das amostras sinterizadas com resíduo incorporado.

Composição (Óxidos)	Amostras				
	0 %	5%	10%	15%	20%
SiO_2	64.350	65.787	62.199	61.656	62.505
Al_2O_3	23.201	22.373	24.667	25.463	24.598
Fe_2O_3	7.863	7.245	8.370	7.946	8.166
TiO_2	1.934	1.870	1.991	2.055	1.992
K_2O	1.335	1.285	1.336	1.259	1.202
CaO	0.892	0.853	0.882	0.945	0.923
Outros (<0,1%)	-	-	-	-	-

Fonte: A autora

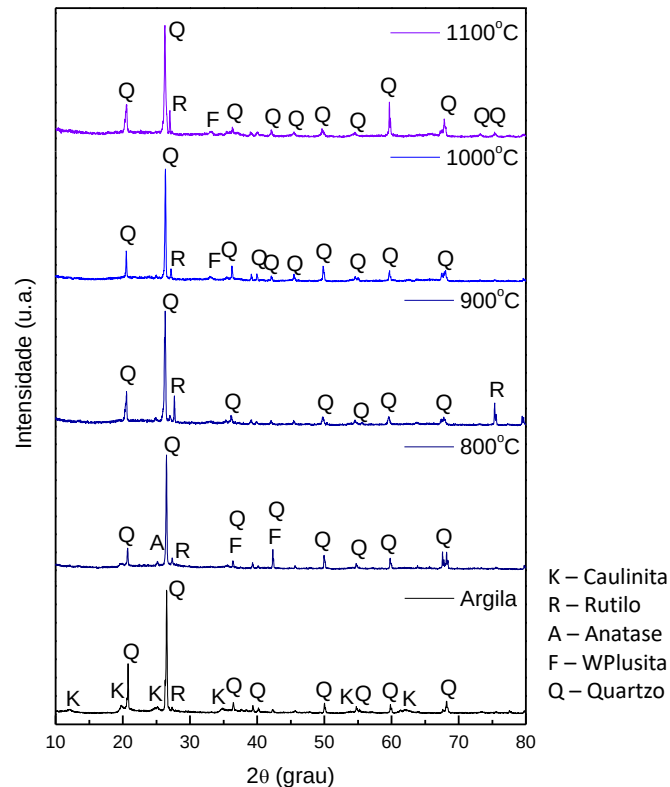
7 DRX Amostras Sinterizadas em diferentes temperaturas.

As Figuras 32 a 36 mostram os difratogramas de raios X das amostras sinterizadas nas diferentes temperaturas e com os diferentes teores de ADF incorporados.

De uma maneira geral, percebe-se que não houve formação de novas fases nas temperaturas de sinterização maiores, independentemente da concentração de ADF incorporada na amostra.

Para a amostra piloto (Figura 32), a partir da temperatura de 800°C não se observam mais os picos de difração referentes à caulinita, tendo em vista que sua estrutura cristalina é destruída em torno de 500°C, concordando com os resultados de análise térmica do material argiloso. Ainda nesta temperatura de sinterização, foram identificados picos de difração de óxido de ferro (FeO – wplusita), que sobrepõem alguns picos do quartzo, além de óxidos de titânio (anatase e rutilo, TiO₂). Para temperaturas de sinterização maiores (900 a 1100°C), observa-se uma predominância do quartzo, sendo identificados, ainda, os picos referentes ao rutilo e à wplusita. Não foi observada nenhuma fase cristalina contendo o óxido de alumínio, identificado em um percentual relativamente considerável na análise química (Tabela 4). Este resultado indica que o alumínio pode estar na forma iônica, dispersos na matriz. Sendo assim, sua presença poderia contribuir para formação de uma nova fase e colaboraria com o aumento da resistência mecânica **Bragança (2004)**. Porém, como observado nos resultados de DRX, não houve formação de novas fases durante o processo de sinterização da amostra até a temperatura de sinterização de 1100°C.

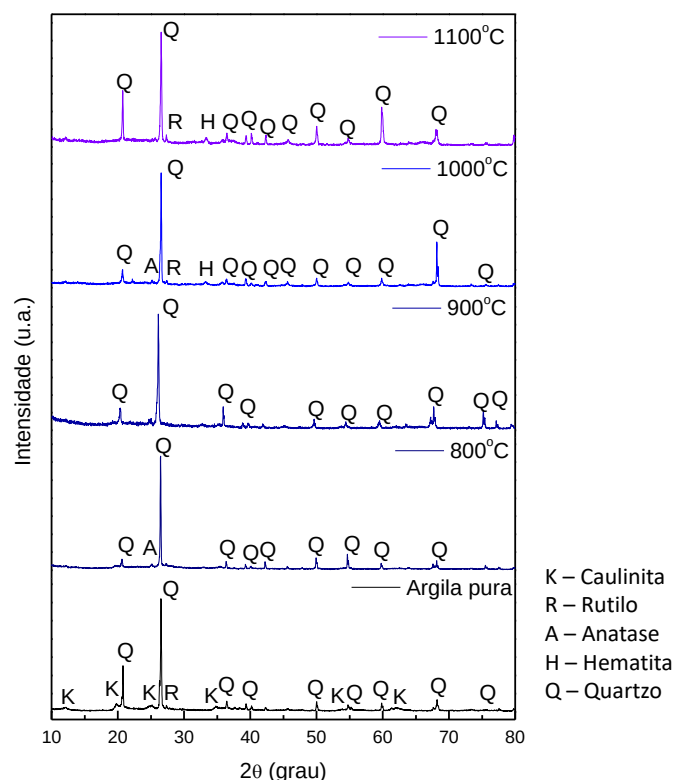
Figura 32: DRX da argila in natura e dos corpos de prova sem adição de ADF (0%), sinterizados nas diferentes temperaturas.



Fonte: A autora

Na amostra com 5% de ADF incorporada (Figura 33), observa-se um comportamento semelhante à amostra padrão, com a predominância da fase de quartzo em todas as amostras e para todas as temperaturas de sinterização. Entretanto, algumas poucas diferenças foram observadas. Note que os picos referentes aos óxidos de titânio são menos intensos, quando comparados à amostra de 0%. Também, para as temperaturas de sinterização em 1000 e 1100°C, foram observados picos da fase hematita (Fe_2O_3). Por outro lado, não foram observados picos referentes à fase wplusita (FeO), na temperatura de 800°C, como observado na amostra padrão. Fases semelhantes foram identificadas no trabalho de **Paludo (2017)**

Figura 33: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 5% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.

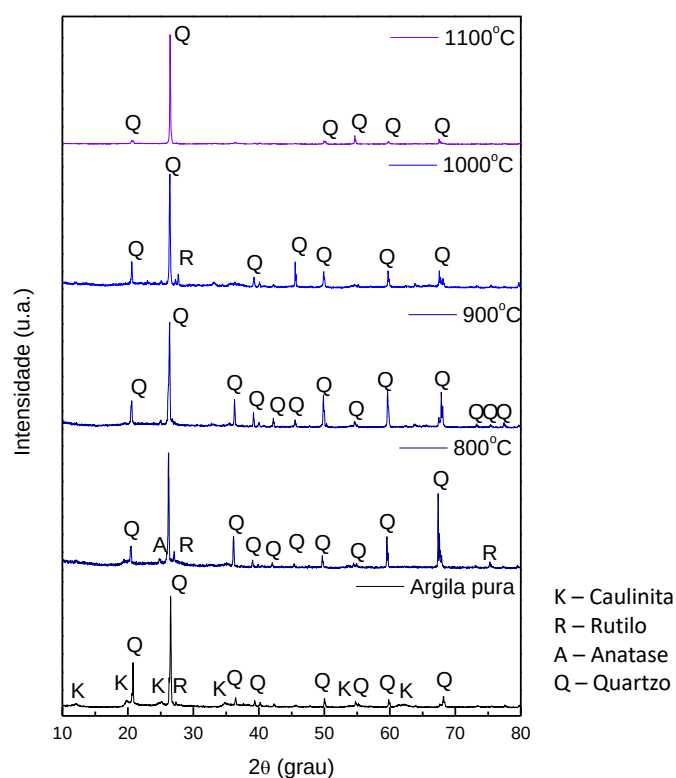


Fonte: A autora

Concomitantemente, para as amostras com 10%, 15% e 20% de ADF incorporadas, o comportamento das fases, com o aumento da temperatura, foi semelhante às aquelas já discutidas (Figuras 34, 35 e 36, respectivamente). O quartzo mostrou-se como fase dominante ao aumentar a temperatura de sinterização, apresentando algumas poucas variações estruturais, como indicado pelas respectivas fichas cristalográficas utilizadas. Observe que, para as temperaturas de 1000 e 1100°C, os picos característicos são intensos e finos, indicando uma alta cristalinidade desta fase.

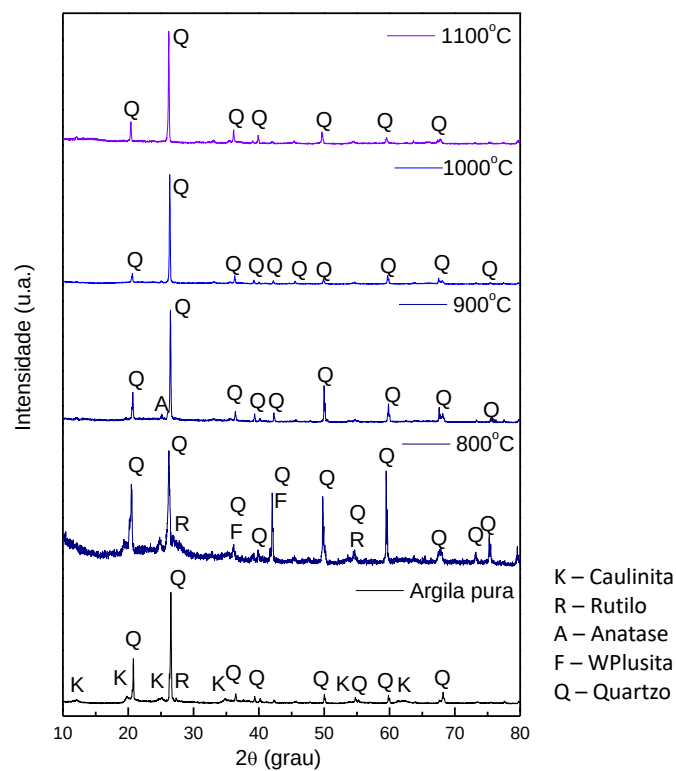
Todas as fichas cristalográficas (JPCDF) utilizadas na identificação dos picos de difração das amostras sinterizadas estão catalogadas na Tabela 1.1 do Apêndice A.

Figura 34: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 10% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.



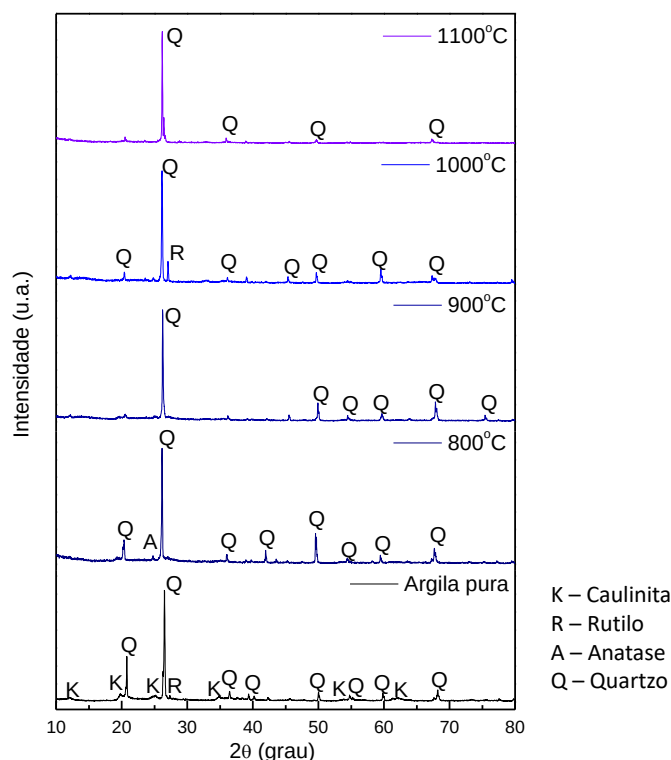
Fonte: A autora

Figura 35: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 15% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas



Fonte: A autora

Figura 36: DRX da argila in natura e dos corpos de prova com 20% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.



Fonte: A autora

8 Microscopia Óptica das Amostras Sinterizadas

As Figuras 37 a 41 mostram as imagens de microscopia óptica dos corpos de prova sinterizados nas diferentes temperaturas e com os diferentes teores de ADF incorporados. Todas as imagens foram obtidas com um aumento de 50 vezes e foi utilizado um microscópio do modelo Zeiss Discovery V.12

Em todas as imagens, foi observada a presença de partículas de areia (quartzo, identificado por DRX), indicadas pelos círculos brancos. Note que a aparência dos tamanhos dessas partículas não é homogênea, mesmo que as amostras, tanto de argila, quanto de ADF, tenham sido peneiradas em peneira de mesma abertura (0,59 mm). Em uma mesma amostra, é possível observar partículas de tamanhos diferentes, uma vez que a areia pode assumir diversos tamanhos, de 20 μ m a 2 mm (**GOMES, 1988**).

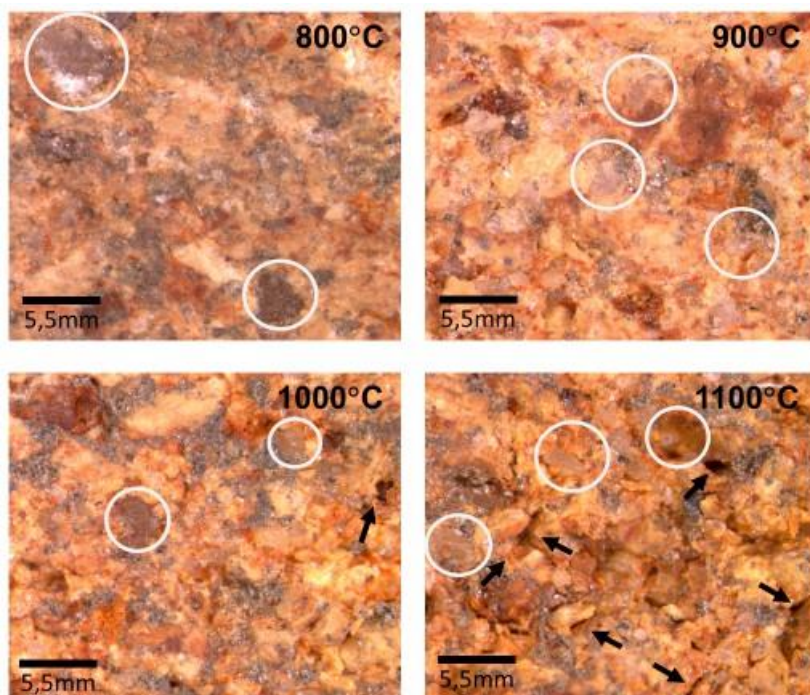
Além destas observações, pode-se notar que, com a adição de ADF à matriz cerâmica, a heterogeneidade do tamanho dessas partículas se torna mais evidente, além de se observar claramente o aumento da quantidade dessas partículas presentes na região analisada.

Observamos, também, que, ao aumentar o teor de ADF na matriz, e, simultaneamente, com o aumento da temperatura de sinterização, torna-se visível o aparecimento de poros, indicados pelas setas pretas nas imagens (Figuras 37 a 41). Aparentemente, este evento contradiz os resultados de porosidade aparente (Figura 28), já discutidos anteriormente, no qual a porosidade aparente diminui para a temperatura de sinterização de 1100°C.

De acordo com o trabalho de **Bragança (2004)**, a porosidade está diretamente relacionada ao tamanho da partícula de quartzo presente na amostra. Segundo as várias referências citadas pelos autores, o tamanho da partícula de quartzo pode gerar porosidades distintas, que, por sua vez, influenciam diretamente na resistência mecânica (e outras propriedades) apresentada pelo material avaliado. Por exemplo, para partículas de quartzo maiores que 50 μm , podem ser gerados poros que provocam trincas denominadas fraturas periféricas no grão ou em torno dele, que, por sua vez, podem se conectar com outras trincas geradas na matriz e diminuir a resistência mecânica do material. Para partículas de quartzo menores que 50 μm , os poros gerados podem ser apenas em torno do grão, caracterizando uma porosidade fechada e, raramente ocorrem interconexões entre fraturas. Entretanto, uma fratura pode ser iniciada a partir de falhas, como microtrincas ao redor dos grãos, que passam a atuar como conectores entre os poros fechados. Neste caso, os poros interconectados, ao invés de isolados, tornam-se deletérios à resistência mecânica do material. Os autores afirmam ainda que, a posição e o formato dos poros também influenciam nesta propriedade, destacando que poros mais próximos da superfície são mais vulneráveis às tensões de ruptura. Com isso, pode-se dizer que diferentes conteúdos de quartzo (quantidade e tamanho de partícula) resultam na variação da resistência mecânica da peça (**BRAGANÇA, 2004**).

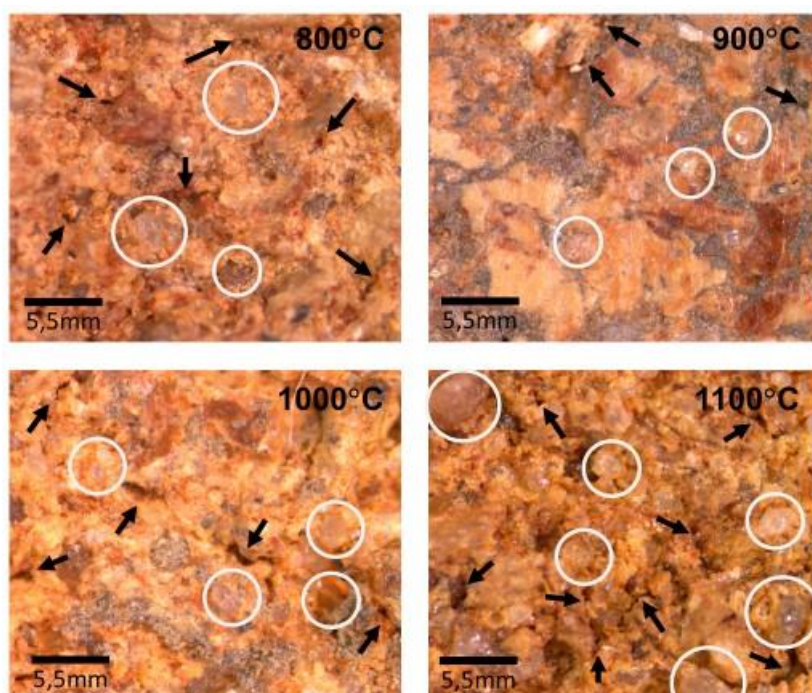
Diante deste contexto, verifica-se que a presença da ADF nas amostras, além de aumentar visivelmente o número de partículas de quartzo (Figuras 37 a 41), pode ter contribuído para a formação destes poros, microtrincas ou trincas periféricas, principalmente na temperatura de sinterização de 1100°C (setas pretas). Verifica-se que, para esta temperatura, o MRF (Figura 31) diminui ligeiramente para cada amostra, o que pode ser explicado pela presença destes poros interconectados, atuando como falhas na microestrutura. Entretanto, eles não participam da porosidade aberta, aquela determinada como porosidade aparente (PA, Figura 28), que depende, exclusivamente, do processo de coalescência entre os grãos de argila em contato, durante a sinterização (SÁNCHEZ-MUÑOZ, 2002).

Figura 37: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova sem adição de ADF (0%), sinterizados nas diferentes temperaturas.



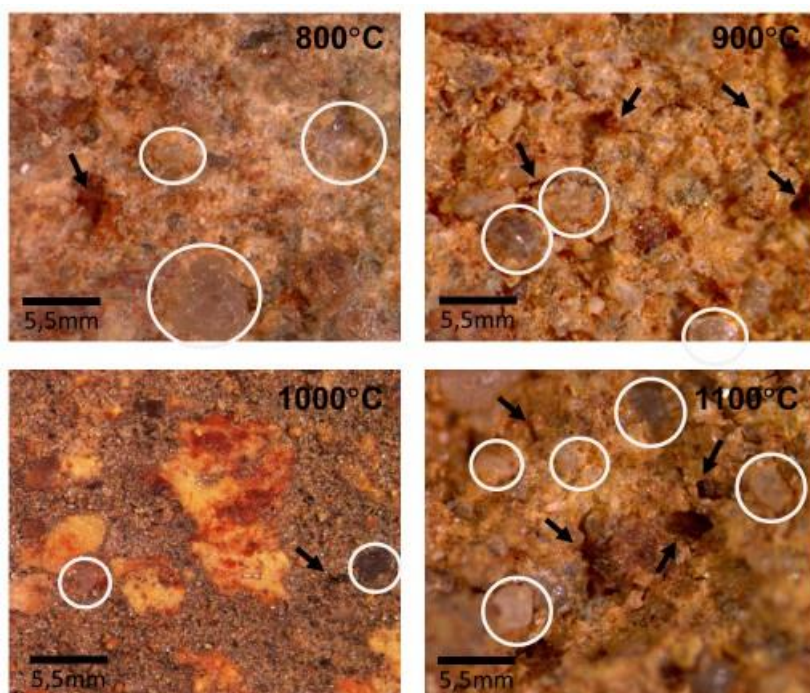
Fonte: A autora

Figura 38: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 5% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.



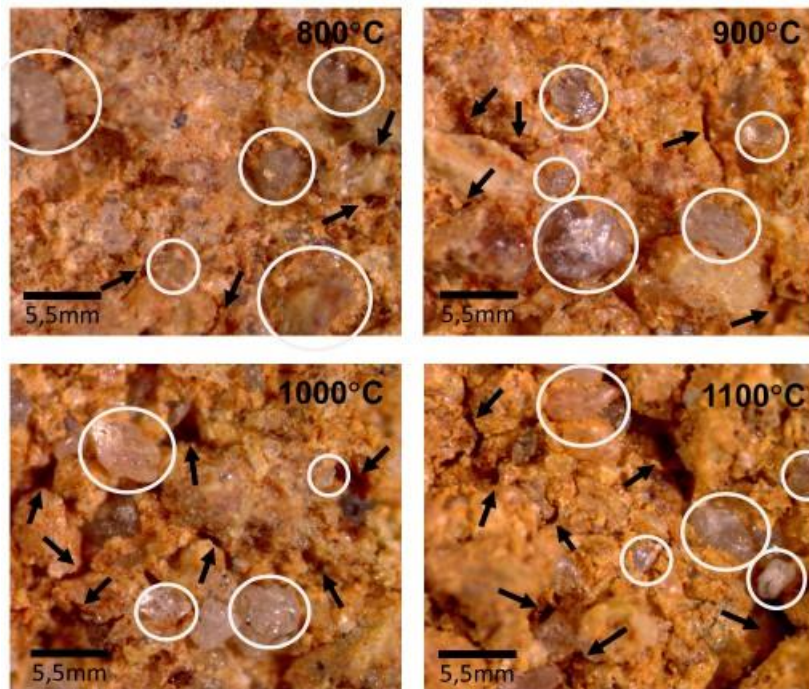
Fonte: A autora

Figura 39: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 10% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.



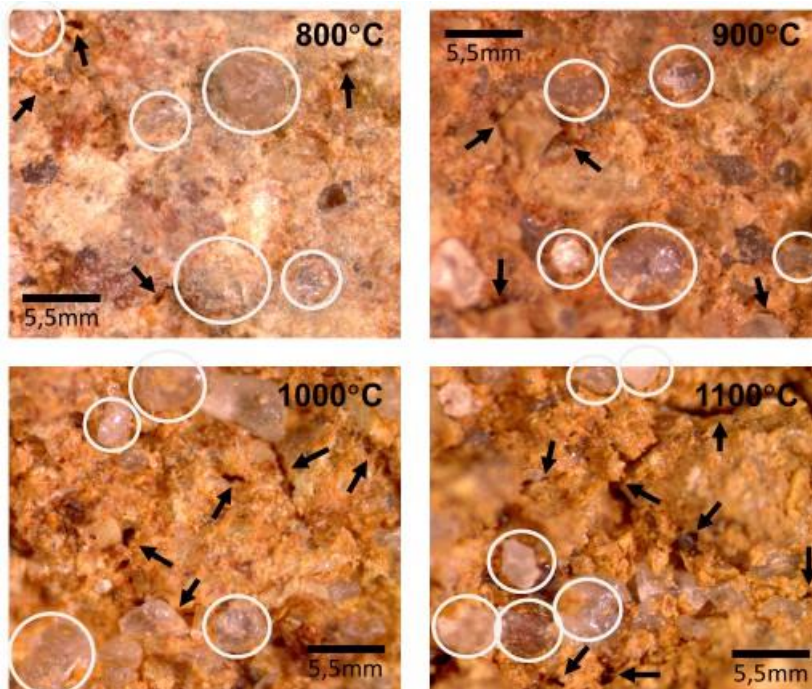
Fonte: A autora

Figura 40: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 15% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.



Fonte: A autora

Figura 41: Imagens de microscopia óptica dos corpos de prova com 20% de ADF incorporada, sinterizados nas diferentes temperaturas.



Fonte: A autora

9 Conclusão

Os resultados de textura e análise química da argila utilizada mostraram que é um material de alta plasticidade, permitindo a incorporação da ADF como material não plástico à matriz. Esta incorporação permite uma melhor trabalhabilidade da massa cerâmica, resultando em peças com propriedades dentro das normas brasileiras.

Os resultados dos ensaios físicos dos corpos de prova com a ADF incorporada atendem, em sua maioria, aos requisitos da norma da ABNT NBR-15270 (Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria), cuja absorção de água por imersão deve ser menor que 25% e retração linear de queima podendo atingir valores até 2%. Da mesma forma, o módulo de resistência à flexão atende aos valores descritos na literatura, que devem estar entre 2 e 6 Mpa.

Embora todas as amostras apresentem comportamento semelhante e com valores de RLq, PA, AA e MEA próximos uns dos outros, independente da temperatura de queima, as amostras com até 15% de ADF apresentam os melhores resultados do MRF, mesmo o quartzo contribuindo com a origem de centros de fraturas nas amostras. Portanto, estas concentrações podem ser consideradas como os teores ótimos para incorporação no material argiloso utilizado neste trabalho, desde que utilizado para fabricação de tijolos ou blocos para alvenaria.

Conclui-se, portanto, que a adição de ADF em matriz cerâmica é viável sob o ponto de vista industrial, resultando em uma economia do recurso natural argila utilizado. Da mesma forma, sob ponto de vista ambiental, o aproveitamento da ADF poderá diminuir impactos ambientais e custos com o descarte adequado para as empresas de fundição da região.

REFERÊNCIAS

ADEGAS, R. G. **Perfil Ambiental dos Processos de Fundição Ferrosa que utilizam Areias no Estado do Rio Grande do Sul**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Escola de Engenharia, UFRGS, 2007.

AREIAS, I.O. R; VIEIRA, C. M. F; MAMNHÃES, R. da S; INTORNE, A. C. Incorporação do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Cerâmica Vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v.63, n.367, jul./set.2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/LXTt5prCfT7p6zdmmlLfCKPK/?lang=pt#>. Acesso em: 18 ago.2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Classificação de Resíduos sólidos Industriais**. NBR 10004. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria: Métodos de ensaios**, parte 2-2017. NBR 15270.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Produtos Refratários Conformados Densos e Isolantes – Determinação do Módulo de Ruptura à Temperatura Ambiente**. NBR 5014. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Revista ABIFA. Disponível em: <http://www.abifa.org.br/industria-de-fundicao-cresce-3-no-primeiro-trimestre/>. Acesso em: 08 out. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. Revista ABIFA. Disponível em: <https://www.abifa.org.br/abifa-divulga-balanco-de-2020-e-perspectiva-de-crescimento-de-ate-15-em-2021/>. Acesso em: 18 ago.2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. O suprimento de matérias-primas para a indústria de cerâmica vermelha no Brasil Revista da ANICER. Ano 14, ed. 73, 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. Relatório Anual Revista da ANICER 2011. Disponível em: https://www.anicer.com.br/wp-content/uploads/2016/11/relatorio_2011.pdf. Acesso em: 16 out. 2019.

BARROS, J. A. D. A. – **Estudo do Reaproveitamento do Rejeito da Mineração De Esmeraldas na Produção de Refratários Conformados Isolantes**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

BEHNAM, M.M.J.; DAVAMI, P.; VARAHRAM, N. Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of gray cast iron. Materials Science & Engineering A. v.528, p.583-588, 2010.

BIOLO, S. M. **Reuso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/licenciamento/documentos/2002_Res_CONAMA_307.pdf . Acesso em: 10 abril.2021.

BITENCOURT, C.S; PANDOLFELLI, V.C. Resinas Termofixas e a Produção de Refratários Contendo Carbono: Base Teórica e Insights para Futuros Desenvolvidos. **Cerâmica**, São Paulo, v.59, n.349, jan./mar.2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132013000100002 . Acesso em: 25 nov. 2019.

BRAGANÇA, S.R.; BERGMANN, C.P. **Aspectos teóricos e práticos sobre a resistência mecânica de porcelanas**. Cerâmica, 50, 145-155, 2004.

BRASIL, Lei nº12.305- Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2 de Agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 19 dez. 2019.

CALDAS, T. C. C. **Reciclagem de Resíduo de Vidro Plano em Cerâmica Vermelha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

CARNIN, R.L.P. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas**. 2008. 131 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Departamento de Química, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

CARVALHO FERREIRA, J. M. G.. **Tecnologia da Fundição**. Lisboa – Portugal. Editora da Fundação Calouste Gulbenkian, 1999

CASOTTI, B.P.; BEL FILHO, E.D.; CASTRO, P.C. Indústria de fundição: situação atual. **Metalurgia**, BNDES Setorial 33, p. 121-162. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 10 maio. 2019

CAMPOS FILHO, M. P. e DAVIES, G. J. **Solidificação e fundição de metais e suas ligas**. Rio de Janeiro. Editora da Universidade de São Paulo, 1978.

CIMM.- Centro de Informação Metal Mecânica. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3676-processos-de-fundio#.Xaht_Oi6PIX. Acesso em: 17 out. 2019.

COLLATTO, D. BERGMANN, C. P. Emprego de Resíduo de Celulose da Indústria de Papel como Matéria- Prima para Fabricação de Material Cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v 14, n. 3, mai./jun. 2009. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/5876573c7f8c9d6e028b4765/pdf/ci-14-3-5876573c7f8c9d6e028b4765.pdf>. Acesso em: 18 ago.2021.

COUTINHO NETO, B. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 2004, 293f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CÚNICO, F. R. **Uso Do Pó De Exaustão Gerado Na Indústria De Fundição Como Matéria-Prima Para A Indústria De Revestimento Cerâmico** –

Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual de Santa Catarina, Joinville, SC.2015.

CHEGATTI, S. **Estudo da Influência da Bentonita Presente nas Areias Descartadas de Fundação na Contaminação do Solo e Águas Subterrâneas**. 2012. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.2012.

DANTAS, J. M. **Montagem, Comissionamento e Operação de um Sistema de Recuperação de Areia de Fundação: Regenerador Térmico** - Plano de Trabalho da Fase II. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – São Paulo. Nov. 2003.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo: Manual de Métodos de Análise de Solo, Brasília, DF, 2017.

FAGUNDES, A.B. VAZ, C.R. OLIVEIRA, I.L. Caminhos para a sustentabilidade do Setor de Fundação no Brasil. São Paulo, 2009.

FACINCANI, E. **Tecnologia ceramica** – I laterizi. 2 ed. Itália, Gruppo Editoriale Faenza. 1992, 267p.

FERNANDES, D.L. **Areias de Fundação Aglomeradas com Ligantes Fenólicosuretânicos** - Caixa fria. 1 ed. Itáúna: SENAI-DR. MG, 2004. 55 p.

FERRARI, T. N. **Incorporação Do Lodo Da Estação De Tratamento De Água (Etaii) Do Município De Rio Claro-Sp, Na Argila, Para Produção De Ceramica Vermelha**. Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro (SP), 2007.

FLORIDO, C. **Estudo das Características da Areia Descartada de Fundação – da Matéria Prima ao Produto Final**. 2007. 17f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC,2007.

FRASSON, B. B.; PELLEGRIN, T. P.; MANTAS, P. Q. **Estudo da viabilidade de utilização da areia de fundição em massa de cerâmica vermelha**. Centro Universitário Barriga Verde – UNIBAVE. 2012.

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

GRIGOLETTI, G.C; SATTLER, M. A. Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - **Revista ANTAC**, v.3, n.3, 2003. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31647/000427832.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 set. 2019.

HALLIDAY, D.; R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física: Gravitação, ondas e Termodinâmica, volume 2, 6a Edição, LTC, Rio de Janeiro-RJ, 2003.

JUNIOR, M. C.AZEVEDO, P. B. M. CUCHIERATOC, G. MOTTA, J. F. M. Estudo Estratégico da Cadeia Produtiva da Indústria Cerâmica no Estado de São Paulo: Parte I – Introdução e a Indústria de Cerâmica Vermelha. **Revista Cerâmica Industrial**, vol.24. n.1,p.20-34,2019. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/article/10.4322/cerind.2019.003/pdf/ci-24-1-20.pdf>. Acesso em: 27 nov.2019.

JUNIOR, M. C. MOTTA, J. F. M. TANNO, L. C. ALMEIDA, A. S. Argila para Cerâmica Vermelha. Cap.33. 2008. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1136/1/33.%20ARG%20CER%20VERM%202008_rev.pdf. Acesso em: 27/11/2019

JUNIOR, A. C. M. **Avaliação da Adição de Lodo Gerado no Tratamento de Efluentes Frigoríficos (LF) como Matéria-Prima na Fabricação de Argila Expandida**. 2017. Dissertação (Mestrado em Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2019.

KONDIC, V. Princípios Metalúrgicos de Fundição. São Paulo, Polígono,1973.

LOPES, L.R.N. **Avaliação da Redução dos Resíduos Sólidos de Areia Resinada em Fundição de Aço Através de Recuperação Térmica.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

MACEDO, R. S. MENEZES, R. R. NEVES, G. A. FERREIRA, H. C. Estudo de Argilas Usadas em Cerâmica Vermelha. Campina Grande, v.54, p 411- 417, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v54n332/05.pdf>. Acesso em 22 dez.2019.

MACEDO, R.J.F.; SANTOS, R.S.; ARAÚJO, M.S.G.; OLIVEIRA, J.F.; MARINHO, R.M.M. Caracterização dos resíduos das indústrias cerâmicas estruturais da Região do Cariri. Caderno de Cultura e Ciência, v.11, n.2, Dez, 2012. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/6A/7/santos_ir_el_et_al_academic.pdf. Acesso em: 20 nov.2019.

MARIOTTO, C. L. **Areias de Moldagem aglomeradas com argila.** São Paulo, Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, 1978.

MENDONÇA, G. C. CACERES, G.R. OLIVEIRA, L.T. NUNES, F.M. FERREIRA, C.C - Determinação Da Absorção De Água Em Produtos Cerâmicos Formulados Com Adição De Cinzas Da Lã De Ovinos. Disponível em: <http://www2.bage.ifsul.edu.br/encif2015/pdf/20150930122127000000.pdf> Acesso em: 12 dez.2019.

MORAES, C. A. M. Reciclagem de resíduos sólidos de Fundição: uma análise crítica. In 57 Congresso Anual da ABM-Internacional, São Paulo, 2002. Anais do 57º Congresso Internacional Anual da ABM. São Paulo: ABM, 2002.

MORIYAMA, T.; INOUE, M. Sample retainer for x-ray fluorescence analysis, x-ray fluorescence analyzing method using the same and x-ray fluorescence spectrometer therefor. Ano, 2006.

MOTTA, J. F. M. ZANARDO, A. CABRAL Jr, M. TANNO, L. C. CUCHIERATO, G. – Cerâmica Industrial, São Paulo. v. 9, n.2. p.5 mar./abr 2004.

MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C. CABRAL Jr. M. Revista Brasileira de Geociências, 23, p. 158-173, 1993.

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. Análise térmica de materiais. São Paulo: Artliber Ltda, 2009. p. 324.

NICOLITE, M. **Aproveitamento de Resíduo da Produção de Alumina Eletrofundida em Cerâmica Vermelha**. 2017.35f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

NUNES, M. B. **Impactos Ambientais na Indústria de Cerâmica Vermelha**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT, Rede de tecnologia e inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, 2012.

PALUDO, H. L. BRAGANÇA, S. R. Consumo De Passivo Ambiental De Areia Descartada De Fundição Em Cerâmica Vermelha, Um Estudo De Caso No Rio Grande Do Sul. Revista Associação Brasileira de Fundição, 2017. Disponível em: <https://abifa.org.br/wp-content/uploads/2017/10/29.09-09h00-CONSUMO-DE-PASSIVO-AMBIENTAL-DE-AREIA-PROCESSADA-DE-FUNDI%C3%87%C3%83O-EM-CER%C3%82MICA-VERMELHA.-UM-ESTUDO-DE-CASO-NO-RIO-GANDE-DO-SUL.pdf> .Acesso em: 27 abr.2021

PAGNUSSAT, D.T. **Utilização de Escória Granulada de Fundição em Blocos de Concreto para Pavimentação**. Dissertação (Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PERINI, P.R. **Fundição**. 2.ed. Escola Técnica Federal de Santa Catarina. 1986.

PINHEIRO, B. C. A; ESTEVÃO, G. M; SOUZA, D. P. Lodo Proveniente da Estação de Tratamento de Água do município de Leopoldina, MG, para aproveitamento na indústria de cerâmica vermelha Parte I: Caracterização do lodo. **Matéria (Rio J.)** 19 (3), jul./ set.2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/D4MLs4BFYmXjVZsY555gFmg/?lang=pt>. Acesso em: 18 ago. 2021.

PIRES, A. C. D. **Interação Dos Metais Zn+2 E Pb+2 Com Os Constituintes Orgânicos E Minerais De Solos De Curitiba, Pr**. 2004. Dissertação (Mestrado

em Ciência do Solo), Curso de Agronomia: Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da Composição Granulométrica de Massas para a Cerâmica Vermelha. **Cerâmica Industrial**, São Carlos – SP, v. 2, p.31-35, jan./abr. 1997.

QUISSINI, C.S. **Estudo da Aplicação de Areia Descartada de Fundição como Material Alternativo para Camada de Cobertura de Aterro de Resíduos**. 2009. 24 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, Área de Concentração: Materiais para engenharia ambiental) – Universidade de Caxias do Sul, 2009.

RESCHKE, J. S. **Escória Granulada de Fundição Utilizada como Substituição ao Cimento em Concretos: Avaliação de Propriedades Relacionadas com a Durabilidade**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

RIZZATTI, E. I; ROMAN, H. R. MOHAMAD, G.I. NAKANISHI, E. Y. Tipologia de Blocos Cerâmicos Estruturais: Influência da Geometria dos Blocos no Comportamento Mecânico da Alvenaria. Revista **Matéria**, v. 16, nº2, 2011. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11442/>. Acesso em: 05 nov.2019.

RODRIGUES, V.S. **Degradação Bacteriana de Compostos Fenólicos Visando a Descontaminação da Areia de Fundição**. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de concentração: Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

RODRIGUEZ, A.L. QUEIROZ, E.V. LÓPEZ, D.A.R. WERMUTH, T.B. BASEGIO, T.M. and BERGMANN, C.P. Utilization of Foundry Waste to Produce Ceramic Matrix Composites. **Materials Science Forum**, v.869, 149-154p. August, 2016.

SANTOS, P. S. Ciência e Tecnologia de Argilas. Editora Edgard Blücher Ltda., 2ª ed, v.1, São Paulo, 1989.

SANTOS, L. F. **Caracterização e reaproveitamento das areias descartadas de fundição (ADF) na produção de blocos de concreto sextavado para pavimento intertravado**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Presidente Prudente, 2019.

SANTOS, C.P.; OLIVEIRA, H.A.; OLIVEIRA, R.M.P.B.; MACEDO, Z.S. Caracterização de argilas calcárias utilizadas na produção de revestimentos cerâmicos no Estado do Sergipe. Revista **Cerâmica**, São Paulo, v. 62, n° 362, abr./jun. 2016 147-156p

SÁNCHEZ-MUÑOZ, L; CAVA, S.S.; PASKOCIMAS, C.A.; CERISUELO, E. LONGO, E.; CALDA, J.B. Seleção de Matérias-primas no Desenvolvimento de Formulações de Massas Cerâmicas. Revista **Cerâmica**, São Paulo, v.48, n°306, abr./jun.2002.

SILVA. L. J. M. D.; APOLONIO, T. G.; SALVIANO, A. F.; TAVEIRA, S. K. A.; GARCIA, T. G. C.; SILVA, J.; LUNA, P. A.; MACEDO, R. S. - 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

SIDDIQUE, R; SINGH, G. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. Revista **Elsevier**, Resources, Conservation and Recycling, v.55, 885-892p, september 2011.

SINDICER- Sindicato da Indústria de Cerâmica para Construção do Estado do Rio Grande do Norte Disponível em: sindicatodaindustria.com.br/noticias/2019/08/72,138044/48-encontro-nacional-da-industria-de-ceramica-vermelha.html. Acesso em: 20 out.2019.

SINGH, G; SIDDIQUE, R. Effect of waste foundry sand (WFS) as partial replacement of sand on the strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. Revista **Elsevier** Construction and Building Materials, v. 26, 416–422p, january 2012.

SILVA, C.E.; JÚNIOR, L.C.S.; CARVALHO, S.M.; BATISTA DA SILVA, R.E. Reaproveitamento de resíduos de areia de fundição – Resultados preliminares.

19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBCimat. Campos do Jordão, SP, p 2041- 2048, 2010.

SOUZA, A.E. **Argilominerais: Influência dos Aditivos (Cinza De Bagaço De Cana-de-Açúcar e Rocha Sedimentar) no Processo de Sinterização**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

SOUSA, A. S.; **Processo de fabricação e qualidade dos blocos cerâmicos fabricados na cidade de Santa Quitéria-Ce**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Vale do Acaraú, 2013.

Souza, A. E. et al. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. Journal of Environmental Management. London: Academic Press Ltd- **Elsevier** B.V. Ltd, v. 92, n. 10, p. 2774-2780, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/6924>. Acesso em: 18 abr.2019.

SOUZA, A.E.; TEIXEIRA, S.R. SANTOS, G.T.A.; COSTA, F.B., LONGO, E. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. Journal of Environmental Management, Revista **Elsevier** v.92, p. 2774-2780, 2011.

SOUZA, A.E.; TEIXEIRA, S.R. SANTOS, G.T.A.; LONGO, E. Addition of sedimentary rock to kaolinitic clays:influence on sintering process. **Cerâmica** v. 59, p.147-155, 2013.

SCHEUNEMANN, R. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo Fenton**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis. 2005.

STEIN, I.; LIVINALI, M.; DALENOGARE, T. ROSA, F. G. D.; PIOVESAN, T. R.; PIRES, D. M. O uso de resíduos para fabricação de blocos cerâmicos, 2018. Disponível em:<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/articloe/view/10426> . Acesso em: 30 mar.2019

TESSARO, A. B; SA, J. S; SCREMIN, L. B; Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas,

RS. *Ambient. constr.* [online]. 2012, v.12, n.2, p.121-130. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000200008>. Acesso em: 08 abr.2021.

TEIXEIRA, S. R, SOUZA, S. A, MOURA, C. A.I- Mineral local characterization of clays used in the structural ceramic industry in West of S.Paulo State, Brazil. **Cerâmica**, v.47, p. 204-207, 2001.

VIEIRA, C. M. F. **Caracterização das argilas de Campos dos Goytacazes visando à fabricação de revestimento cerâmico semiporoso**. 2001. p.126. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Campos dos Goytacazes. 2001.

VIEIRA, C.M.F.; MONTEIRO, S.N. Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. Revista **Matéria**, v. 14, n.3, p.881 – 905, 2009.

VIEIRA, C. M. F; PINHEIRO, R. M. EVALUATION of kaolinitic clays from Campos dos Goytacazes used for red ceramic fabrication. Revista **Cerâmica** v. 57. n.343 São Paulo July/Aug/Sept 2011.

VITORINO, J. P. D.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização e incorporação de resíduos provenientes de Estação de Tratamento de Água em cerâmica argilosa. Campos dos Goytacazes, RJ. **Cerâmica** 55, v.55. n .336. p.385-392. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v55n336/08.pdf>. Acesso em: 26 nov.2019.

APÊNDICE-A

Tabela 1.1: Identificação dos picos de DRX das amostras sinterizadas

Amostra	Fase		Ficha (JPCDS)
0.6.1	Rutilo	R	34-180
	Anatase	A	71-1169
	Quartzo- α	Q	89-8937
	WPlusita (FeO)	F	46-1312
0.6.2	Rutilo	R	34-180
	Anatase	A	71-1169
	Quartzo- α	Q	89-8942
	WPlusita (FeO)	F	46-1312
0.6.3	Rutilo	R	1-1292
	Óxido de ferro- α	F	5-637
	Quartzo- α	Q	3-427
0.6.4	Rutilo	R	3-1122
	Óxido de ferro- α	F	5-637
	Quartzo- α	Q	2-458
5.6.1	Anatase	A	71-1169
	Quartzo- α	Q	89-8938
5.6.2	Quartzo- α	Q	89-8936
5.6.3	Quartzo- α	Q	89-8936
	Anatase	A	71-1169
	Rutilo	R	76-319
	Hematita	H	2-915
5.6.4	Quartzo- α	Q	89-8937
	Rutilo	R	76-319
	Hematita	H	89-8104
10.6.1	Quartzo- α	Q	3-427
	Rutilo	R	76-326
	Anatase	A	71-1169
10.6.2	Quartzo- α	Q	3-427
	Anatase	A	1-562
10.6.3	Quartzo	Q	83-2187
10.6.4	Quartzo- α	Q	89-8937
15.6.1	Quartzo- α	Q	3-427
	Rutilo	R	2-494
	Westite (FeO)	F	74-1886
15.6.2	Quartzo- α	Q	89-8937
	Anatase	A	71-1169
15.6.3	Quartzo- α	Q	83-2187
15.6.4	Quartzo- α	Q	83-2187
20.6.1	Quartzo- α	Q	83-2187
	Anatase	A	71-1169
20.6.2	Quartzo- α	Q	89-8941
	Anatase	A	71-1169
20.6.3	Quartzo- α	Q	3-419
	Rutilo	R	76-326
20.6.4	Quartzo- α	Q	74-1811