



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas - Escola de Minas



Trabalho de Conclusão de Curso

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GRANÍTICOS FINOS NA FABRICAÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA

Mauro Roza Machado Filho

Orientadora: Prof. Dra. Erica Linhares Reis

Co-orientadora: Mariana Caroline Andrade Silva

OURO PRETO
2019



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Engenharia de Minas - Escola de Minas



Mauro Roza Machado Filho

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS GRANÍTICOS FINOS NA FABRICAÇÃO DE
CERÂMICA VERMELHA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia de
Minas pela Universidade Federal de Ouro
Preto.

Área de concentração: Engenharias.

Orientadora: Prof. Dra. Erica Linhares
Reis.

Co-orientadora: Mariana Caroline
Andrade Silva.

Universidade Federal de Ouro Preto.

Ouro Preto
2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M149a Machado Filho, Mauro Roza .

Aproveitamento de resíduos graníticos finos na fabricação de cerâmica vermelha. [manuscrito] / Mauro Roza Machado Filho. - 2019.

51 f.: il.: color.. + Quadro.

Orientadora: Profa. Dra. Erica Linhares Reis.

Coorientadora: Profa. Mariana Caroline Andrade Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Rejeitos. 2. Rochas ornamentais. 3. Cerâmica vermelha. I. Reis, Erica Linhares. II. Silva, Mariana Caroline Andrade. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 622.79

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 06 dias do mês de dezembro de 2019, às 09h00min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas DEMIN/EM, no Campus Universitário Morro do Cruzeiro, foi realizada a defesa da Monografia de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“APLICAÇÃO DE RESÍDUOS GRANÍTICOS NA FABRICAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA”**, pelo aluno **Mauro Roza Machado Filho**, sendo a comissão avaliadora formada por Prof.^a Dr.^a Érica Linhares Reis (orientadora), Prof. M. Sc. Juliano Tessinari Zagôto e Eng.^o de Minas Paôlla de Carvalho Barbosa.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou pela ~~aprovação~~ aprovação do candidato, com a nota 8,5, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

O aluno fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após o depósito, no site do Repositório UFOP, da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Prof.^a Dr.^a Érica Linhares Reis
Presidente da Comissão Avaliadora e Orientadora

Ouro Preto, 09 de dezembro de 2019.

Prof. M. Sc. Juliano Tessinari Zagôto
Membro da Comissão Avaliadora

Eng.^o de Minas Paôlla de Carvalho Barbosa
Membro da Comissão Avaliadora

Mauro Roza Machado Filho

Prof. M. Sc. José Fernando Miranda
Professor responsável pela Disciplina Min 492 – Trabalho de Conclusão de Curso

Campus Universitário Morro do Cruzeiro – CEP: 35400-000 – Ouro Preto – MG
Home page: <http://www.em.ufop.br> – E-mail: demin@demin.ufop.br – Tel (0xx) 31 3559-1590/1595 – FAX: (0xx) 31 3559-1606

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho. Primeiramente agradeço a minha professora e orientadora Erica Linhares Reis e também minha co-orientadora Mariana Caroline Andrade Silva por toda paciência e sabedoria ao me guiar durante as etapas deste projeto. Agradeço também à Universidade Federal de Ouro Preto e todos funcionários, assim como a Fundação Gorceix, pelo auxílio em pesquisa, e à empresa Nova Aurora Mármore e Granitos por ceder o material resíduo granítico. Sem a presença destes citados, não seria possível a realização deste trabalho de conclusão de curso. Obrigado.

DEDICATÓRIA

Dedico a meus pais por toda confiança e amor depositados em mim.

RESUMO

O beneficiamento de rochas ornamentais gera cerca de 26% de resíduos sólidos finos por bloco de rocha serrado. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo estudar a aplicação de um resíduo de granito, proveniente do processo de beneficiamento primário de rochas ornamentais, na fabricação de cerâmica vermelha. Foram confeccionados corpos de prova cerâmicos, com umidade controlada entre 8 e 12%, formados por argila, esta previamente caracterizado por Souza (2016) com substituições de 10, 15 e 100% de resíduo. Estes corpos foram formados sob uma pressão de 28 MPa, seu intervalo de secagem, à 65°C, foi de 72 horas, já o período de queima, à 1000°C, foi de 2 horas. Posteriormente realizou-se os seguintes ensaios tecnológicos: retração linear de secagem e de queima, massa específica aparente, absorção de água e resistência à compressão uniaxial. Os valores obtidos para retrações linear de secagem e de queima apresentaram alterações baixas quando comparados àqueles obtidos para os corpos de prova compostos apenas por solo. No que diz respeito à massa específica aparente após a queima, houve um acréscimo para as composições com 10 e 15% de substituição por resíduos de granito de, respectivamente, 4 e 7%. No que tange a resistência à compressão uniaxial, os valores obtidos para as composições com 10, 15 e 100% de substituição foram, respectivamente, 52,9, 57,8 e 17,2 MPa. Em relação à composição composta apenas por solo, houve um acréscimo de 4% para a primeira composição; enquanto a segunda composição, esse acréscimo foi mais relevante, de 13%, já para a composição formada 100% por resíduo houve um decréscimo de 66%. Para o parâmetro absorção de água, os valores obtidos para as composições com 10, 15 e 100% de substituição foram, respectivamente, 21,5, 20,4 e 24,6%; Os valores obtidos para os corpos cerâmicos compostos apenas por resíduo de granito foram fundamentais, pois evidenciam que este material assume caráter positivo na incorporação até um determinado ponto, porém sua utilização não se torna viável individualmente.

Palavras-chave: cerâmica vermelha, resíduo, granito, substituições, ensaios tecnológicos.

A

BSTRACT

The ornamental stone processing generates a large amount of solid waste that is discarded. In this way, this present work has the objective of test the viability of applying a granite waste, originated from the primary beneficiation process of ornamental stones, in a red ceramics confection. Ceramic samples were made, with its humidity controlled between 8 and 12%, with the composition of 100% clay, previously characterized, and also with the substitution of 10, 15 and 100% of granite waste. The samples were compacted under a pressure of 28 MPa, its drying interval was 72 hours, at 65°C, and the firing interval was 2 hours, at 1000°C. Afterwards there were made the technological trials: Drying and firing linear retraction, apparent density after the burning, water absorption and resistance to uniaxial compression. The values of linear retraction were insignificant when compared with those obtained with the samples made only with clay. In the matter of apparent density there were an increase to the compositions with 10 and 15% of substitution, of 4 and 7% respectively. Regarding the uniaxial compressive strength, the values obtained for the compositions with 10, 15 and 100% substitution were, respectively, 52,9, 57,8 and 17,2 MPa. Regarding the composition composed only by soil, there was an increase of 4% in relation to the resistance for the first composition; while for the second composition, this increase was more relevant, of 13%. For the water absorption parameter, the values obtained for the compositions with 10,15 and 100% substitution were, respectively, 21,5, 20,4 and 24,6%; The values obtained for the ceramic bodies composed only of granite residue were fundamental, since they show that this material assumes positive character in the incorporation to a certain point, but its use is not viable individually.

Key words: red ceramic, waste, granite, substitution, technological trials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma básico do beneficiamento, utilizando-se tear multifio diamantado, e geração de resíduos de rochas ornamentais.....	15
Figura 2. Tear multilâmina convencional.....	16
Figura 3. Tear multilâmina convencional.....	17
Figura 4. Tear multifio diamantado.....	18
Figura 5. Fio diamantado.....	18
Figura 6. Processo de formação de resíduo seco no processo de beneficiamento primário de rochas ornamentais.....	20
Figura 7. Extrusora.....	25
Figura 8. Equipamento Difratômetro Pan Analytical X Pert ³ Powder.....	33
Figura 9. Fluxograma de confecção dos corpos cerâmicos.....	34
Figura 10. Prensa hidráulica SoloCap.....	35
Figura 11. Alto forno Elektro Therm.....	36
Figura 12. Curva granulométrica do resíduo granítico.....	40
Figura 13. Difratograma do resíduo.....	41
Figura 14. Corpos cerâmicos compostos, respectivamente, por 10, 15, 100% de resíduo granítico.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Dados referentes à exportação mineral brasileira no ano de 2018.....	14
Quadro 2. Exportação de rochas ornamentais 2019.....	14
Quadro 3. Consumo médio de insumos e energia no processo de serragem de blocos comerciais de granito por meio de um tear multilâmina convencional.....	19
Quadro 4. Consumo médio de insumos e energia no processo de serragem de blocos comerciais de granito por meio de um tear multifio diamantado.....	19
Quadro 5. Grau de pureza das argilas.....	23
Quadro 6. Composição granulométrica para produtos da cerâmica vermelha.....	24
Quadro 7. Transformações físicas que ocorrem durante a etapa de queima de corpos cerâmicos.....	26
Quadro 8. Transformações químicas que ocorrem durante a etapa de queima de corpos cerâmicos.....	26
Quadro 9. Os principais tipos de resíduo.....	28
Quadro 10. Normas de resultados de ensaios tecnológicos para tipos de cerâmica vermelha.....	29
Quadro 11. Composição química da amostra de solo argiloso.....	30
Quadro 12. Propriedades físicas e composição mineralógico do solo argiloso.....	30
Quadro 13. Distribuição granulométrica do solo argiloso.....	30
Quadro 14. Valores de ensaios tecnológicos previamente caracterizados.....	31
Quadro 15. Produção mensal do material White Spring.....	31
Quadro 16. Resultado análise química por fluorescência de raios X.....	42
Quadro 17. Resultado Ensaios Tecnológicos.....	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AA	Absorção de água (%)
ISO	International Organization for Standardization
MEA	Massa específica aparente (g/cm^3)
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
RCU	Resistência à compressão uniaxial (MPa)
RLQ	Retração Linear de Queima (%)
RLS	Retração Linear de Secagem (%)

LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Equação de densidade por picnômetro	32
(2) Equação de retração linear de secagem	37
(3) Equação de retração linear de queima	37
(4) Equação de massa específica aparente.....	38
(5) Equação de absorção de água	38
(6) Equação de resistência à compressão uniaxial.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1 Rochas Ornamentais	13
3.1.1 Definição e Histórico Nacional	13
3.1.2 O setor de rochas ornamentais.....	13
3.1.3 O beneficiamento da rocha ornamental e seu resíduo.	14
3.2 Materiais Cerâmicos	21
3.2.1 Definição e histórico.....	21
3.2.2 Matérias Prima.....	22
3.2.3 Cerâmica vermelha e seu processo de Fabricação.....	23
3.3 Incorporação de resíduos na indústria da cerâmica	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Matéria prima argilosa	30
4.2 Resíduo de granito e sua caracterização	31
4.2.1 Homogeneização, quarteamento e amostragem	31
4.2.2 Peneiramento	32
4.2.3 Determinação da densidade	32
4.2.4 Análise Mineralógica.....	33
4.2.5 Análise Química	33
4.2.6 Determinação da umidade	34
4.3 Conformação dos corpos cerâmicos	34
4.4 Ensaio tecnológicos para cerâmica.....	36
4.4.1 Retração linear.....	36

4.4.2	Massa Específica Aparente.....	37
4.4.3	Absorção de água.....	38
4.4.4	Resistencia à Compressão Uniaxial.....	38
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	Caracterização Tecnológica do Resíduo	40
5.1.1	Peneiramento	40
5.1.2	Densidade e Umidade	40
5.1.3	Análise Mineralógica.....	41
5.1.4	Análise Química	41
5.2	Conformação dos corpos cerâmicos	42
5.3	Ensaio tecnológicos.....	42
5.3.1	Retração Linear.....	43
5.3.2	Massa Específica Aparente.....	43
5.3.3	Absorção de Água	44
5.3.4	Resistencia à Compressão Uniaxial.....	44
6.	CONCLUSÃO	45
7.	SUGESTÕES	47
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. INTRODUÇÃO

No setor de rochas ornamentais nota-se o crescimento da preocupação em relação a geração e disposição de resíduos, já que seu beneficiamento primário, a serragem de blocos em chapas, apresenta cerca de 26% de perda de material por bloco, na forma de FIBRO (finos do beneficiamento de rochas ornamentais) gerados por água e pó de rocha, por meio do equipamento tear multifio diamantado (SOUZA *et al.*, 2012), responsável pela geração do resíduo fino granítico utilizado neste trabalho. O descarte inadequado de resíduos é um potencial degradador ambiental, capaz de afetar não apenas a qualidade de solos e águas superficiais, como também a fauna, flora e lençol freático.

A indústria da cerâmica, por sua vez, parece ser capaz de proporcionar um destino à resíduos, por meio do aproveitamento como matéria prima alternativa na fabricação dos mais diversos produtos. O uso de resíduos pela indústria da cerâmica é muito atrativo visto que estes são capazes de proporcionar variados efeitos de acordo com o tipo de resíduo incorporado, sendo estes divididos em quatro classificações: fundentes, redutores de plasticidade, combustíveis e cinzas volantes. (DONDI E FABBRI, 1997)

Resíduos finos de granitos se apresentam favoráveis ao incremento no setor de cerâmica, tendo em vista que a matéria prima argilosa, material base da produção cerâmica, deriva da decomposição de rochas silicáticas, o que pode inferir, em casos de proximidade entre as regiões das matérias, uma similaridade na composição mineralógica (TORRES, 2007). Também de acordo com Torres (2007), a composição granítica possui um alto teor de óxidos fundentes, o que favorece a sinterização do corpo cerâmico a baixas temperaturas de queima.

Sendo assim, o estudo detalhado sobre resíduos, assim como a sua caracterização para se determinar uma possível utilização destes como matéria-prima alternativa de outro setor produtivo, é de enorme valia, possibilitando unir o ideal de preservação ambiental e a economia de matéria prima argilosa ao desenvolvimento do setor cerâmico, enquanto reduz os custo de produção ao se utilizar um resíduo de baixo valor econômico (SOUZA, 2016).

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Avaliar a utilização de um resíduo granítico fino do beneficiamento primário de rochas ornamentais, na composição de mistura para fabricação de cerâmica vermelha.

Objetivos específicos:

- Caracterizar granulométrica, mineralógica e quimicamente o resíduo granítico proveniente da empresa Nova Aurora Mármore e Granitos Ltda.
- Desenvolver a conformação dos corpos de prova cerâmicos com porcentagens de substituição de 10, 15 e 100% de argila por resíduo granítico.
- Realizar os ensaios tecnológicos de retração linear de secagem e queima, compressão uniaxial, absorção de água e massa específica aparente para investigar como as porcentagens substituição de argila por resíduo granítico afeta no comportamento do corpo cerâmico.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Rochas Ornamentais

3.1.1 Definição e Histórico Nacional

As rochas ornamentais, segundo Vidal e Castro (2013), são materiais rochosos extraídos e beneficiados, com valor econômico, que podem ser utilizados com funções variáveis, como revestimento, estrutural, decorativa. Dentre as rochas, destacam-se os granitos, mármore, quartzitos, gnaisses e o xisto. O setor de Rochas ornamentais se enquadra na transformação mineral não metálica, valorizando a integridade física e beleza dos maciços. Sendo aplicadas majoritariamente como revestimento interno e externo, em forma de pisos, ladrilhos, bancadas, pias, pilares e peças feitas sob medida (NEVES, 2002). Segundo a norma da ABNT/NBR 15012 rocha ornamental é definida como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento para exercer uma função estética.

A rocha ornamental como é comercializada nos dias de hoje, no formato de chapas, só foi desenvolvida no século XX (VIDAL e CASTRO, 2013). A indústria de rochas ornamentais no Brasil desenvolveu-se assim que se iniciou a exploração de mármore do Espírito Santo, e a cidade de Cachoeiro de Itapemirim-ES é desde então o polo nacional da indústria de beneficiamento. A primeira extração de blocos comerciais de mármore no país, segundo Castro *et al.* (2011), ocorreu há mais de 50 anos por Horácio Scaramussa, em Prosperidade, Vargem Alta - ES, realizada com métodos rústicos e com transporte dos blocos para beneficiamento no Rio de Janeiro.

3.1.2 O setor de rochas ornamentais

De acordo com o MME (2019), em 2018 o setor mineral foi responsável por um total de US\$ 49,8 bilhões em exportações, o que representa 20% de todos produtos exportados pelo Brasil. O setor mineral abrange a mineração (indústria extrativa) e a indústria de transformação mineral (metálicos, não metálicos e compostos químicos). No Quadro 1, ainda que se observe uma leve retração da exportação de rochas em relação a 2017, fica evidenciada a importância do setor de rochas ornamentais, quando analisada sua participação nas exportações referentes à mineração, aparecendo como o terceiro bem mineral mais exportado

com US\$ 989 milhões, representando uma participação de 3,9% no valor total exportado em 2018, superado apenas pela exportação de minério de ferro e de cobre.

Quadro 1. Dados referentes à exportação mineral brasileira no ano de 2018

Minérios	2017		2018		Participação 2018
	10 ³ t	US\$ 105	10 ³ t	US\$ 105	%
Minério de Ferro	383.357	19.199	389.807	20.215	80,2
Cobre	1.248	2.485	1.246	2.640	10,5
Rochas Ornamentais	2.358	1.107	2.192	989	3,9
Bauxita	8.970	238	8.416	267	1,1
Manganês	2.683	366	2.614	406	1,6
Outros	-	660	-	694	2,8
Total	-	24.055	-	25.211	100

Fonte: MME, 2019

Foi apresentado pelo Abirochas (2019), o balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas ornamentais em 2018, em que o Brasil exportou rochas ornamentais para 120 países. Os principais destinos foram EUA e China. Os principais estados exportadores foram Espírito Santo, Minas Gerais e Ceará, sendo apenas o Espírito Santo responsável por 79,7% do faturamento brasileiro, no qual a cidade de Cachoeiro de Itapemirim corresponde a aproximadamente 80% da produção do estado.

Quanto ao exportação de rochas ornamentais no ano de 2019, foi divulgado pelo Sindirochas (2019) dados referentes ao período de janeiro a outubro do ano de 2019, conforme observado pelo Quadro 2. Observa-se neste período um total de 1.746.838 toneladas de rochas ornamentais exportadas até o mês de outubro de 2019.

Quadro 2. Exportação de rochas ornamentais 2019

Exportação brasileira durante o ano de 2019	
US\$	Toneladas
838.241.074	1.746.838

Fonte: Sindirochas, 2019

3.1.3 O beneficiamento da rocha ornamental e seu resíduo.

O beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente à transformação dos blocos, extraídos na fase de lavra, em chapas, produtos finais ou semiacabados. Desta forma, podem

se separar as fases de beneficiamento em primário, na qual ocorre a serragem de blocos em chapas, e secundário, responsável pelo acabamento destas chapas, conferindo-as uma superfície lisa e brilhosa.

Segundo Silva (1998) o resíduo oriundo do beneficiamento de rochas ornamentais, quando tratado, é um pó com umidade abaixo de 20%, granulação fina, inerte e danoso à saúde. O fluxograma básico do beneficiamento de rochas ornamentais, assim como sua geração de resíduo é apresentado na Figura 1:

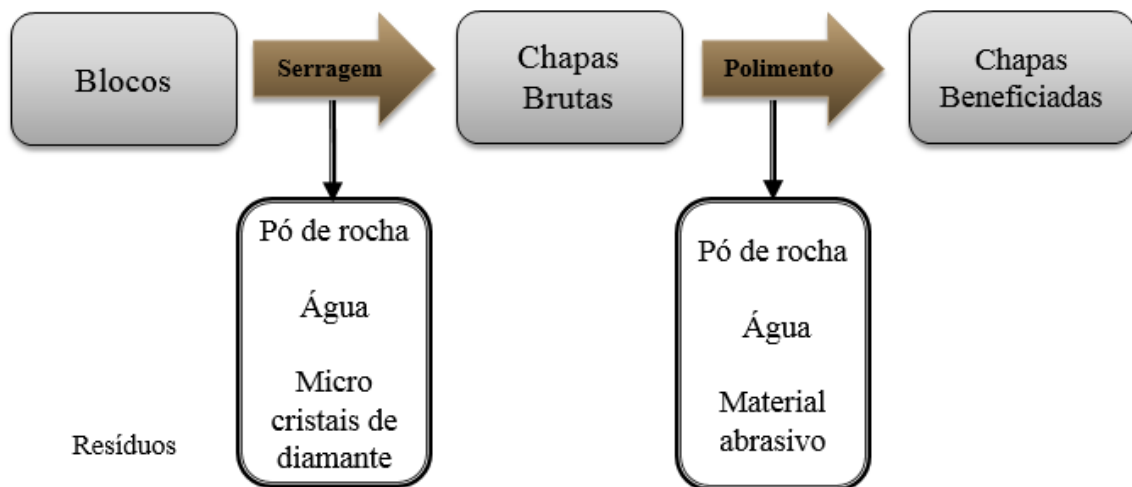


Figura 1. Fluxograma básico do beneficiamento, utilizando-se tear multifio diamantado, e geração de resíduos de rochas ornamentais.

Fonte: Fonte: Jean Yves, Kerollan Ramos, Mauro Machado Filho, Thamiris Castro, Vitor Maia

Os blocos lavrados de rochas ornamentais são recebidos pelas empresas com volumes que variam de 8 a 12m³, são então lavados e direcionados à serragem. O objetivo desta etapa é produzir chapas de 2 ou 3 cm de espessura, por meio do princípio de atrito (ROXO *et al.*, 2006). Há dois tipos de equipamentos amplamente utilizados para o beneficiamento primário de blocos, o tear multilâmina convencional, e o seu sucessor tecnológico, o tear multifio diamantado.

- Tear multilâmina convencional:

Segundo Souza *et al.* (2012), estes teares são responsáveis pela maioria das serragens no Brasil, visto que este método é mais antigo, difundido, e requer um investimento inicial menor quando comparado ao seu sucessor.

O processo se dá por meio da ação de um conjunto de lâminas de aço dispostas de maneira equidistante, tensionadas em um sistema que se movimenta de forma descendente sobre o bloco, enquanto é descarregada uma polpa abrasiva, formada por água, cal/bentonita,

granalha de aço ou ferro e pó de rocha. O quadro que porta as lâminas é acoplado a um sistema biela-manivela, que é acionado por um motor elétrico, responsável pelo movimento “vai-e-vem” das lâminas sobre a rocha, originando o atrito entre os corpos e, o conseqüente, corte do bloco (SOUZA, 2012). As Figuras 2 e 3 ilustram teares multilâmina convencional.



Figura 2. Tear multilâmina convencional.

Fonte: [http://www.marmoreegranito.com.br/wp-content/uploads/2019/04/tear-multilamina-](http://www.marmoreegranito.com.br/wp-content/uploads/2019/04/tear-multilamina-beka4.jpg)

beka4.jpg



Figura 3. Tear multilâmina convencional
Fonte: Paraguassú *et al* (2017)

- Tear multifio diamantado:

Este tear realiza o corte da rocha por meio da ação abrasiva de pérolas diamantadas, disposta de maneira equidistante ao longo de um cabo de aço, o que forma uma espécie de serra acionada por um motor elétrico, gerando um movimento de rotação dos fios diamantados sobre o bloco de rocha, enquanto o quadro porta-fios desce gradativamente (SOUZA *et al.*, 2012). Ao longo de processo o sistema é banhado por água, evitando a suspensão de partículas no ar, além de atuar como líquido de refrigeração do equipamento.

Ainda de acordo com os estudos de Souza *et al.* (2012), observou-se aproximadamente 26% do volume de cada bloco de rocha é transformado em resíduo fino. O acompanhamento do nível de água expurgado no processo é uma importante variável, pois é diretamente relacionado ao volume de resíduo gerado, independentemente do método utilizado. A Figura 4 apresenta o tear multifio diamantado utilizado pela Nova Aurora Mármore e Granitos, enquanto a Figura 5 apresenta um exemplo de fio diamantado.



Figura 4. Tear multifio diamantado
Fonte: Nova Aurora Mármore e Granitos



Figura 5. Fio diamantado
Fonte: <https://www.clickstones.com/anuncios/brasil/insumos-e-ferramentas/fio-diamantado/fio-diamantado-para-multifios-5-6-e-7mm-270>

Os resíduos provenientes de cada processo de serragem se diferem basicamente devido à presença de lâmina desgastada, cal/bentonita e granalha de aço ou ferro, pertencentes ao tear multilâmina somados à água, e pó de rocha. Ao passo que no tear multifio diamantado há a

presença apenas de pó de rocha, água e micro cristais de diamante, o que configura uma quantidade de resíduo menor, precisamente 79% da quantidade de resíduo produzido pelo seu antecessor (kg/m^2 de chapa produzida) (SOUZA *et al.*, 2012).

Os Quadros 3 e 4 a seguir apresentam o consumo médio de insumos e energia por tipo de equipamento utilizado para a serragem de blocos comerciais de granitos, no qual fica evidenciado a vantagem do uso do tear multifio diamantado em relação em seu antecessor, devido a um menor volume e variedade de insumos, assim como menor gasto de energia, por bloco de rocha serrado.

Quadro 3. Consumo médio de insumos e energia no processo de serragem de blocos comerciais de granito por meio de um tear multilâmina convencional.

Insumo	Consumo
Lâmina (Kg/m^2)	0,30 - 2,50
Granalha (Kg/m^2)	0,60 - 4,00
Cal (Kg/m^2)	0,40 - 2,50
Bentonita (Kg/m^2)	0,14 - 1,30
Energia (KWw/m^2)	2,16 - 18,60

Fonte: Vidal e Castro, 2013

Quadro 4. Consumo médio de insumos e energia no processo de serragem de blocos comerciais de granito por meio de um tear multifio diamantado.

Insumo	Consumo
Lâmina diamantada (g/m^2)	0,50 - 0,70
Energia (KW/m^2)	5 - 10,00

Fonte: Vidal e Castro, 2013

Ao fim do beneficiamento primário, o resíduo passa por um tratamento que objetiva sua redução de umidade para um valor máximo de 20%, e por consequência reduz seu volume e seu custo de transporte para o destino final, entre descarte inadequado, aterros industriais ambientalmente regularizados ou a utilização deste material como matéria prima para outro produto. A principal forma de se realizar este tratamento é através dos sedimentadores verticais, também chamados de silos de decantação, na maioria dos casos associados a um equipamento filtro prensa, que além gerar um rejeito de baixo umidade (em torno de 20%), garantem um elevado índice de reutilização de água no processo (ROXO *et al.*, 2006).

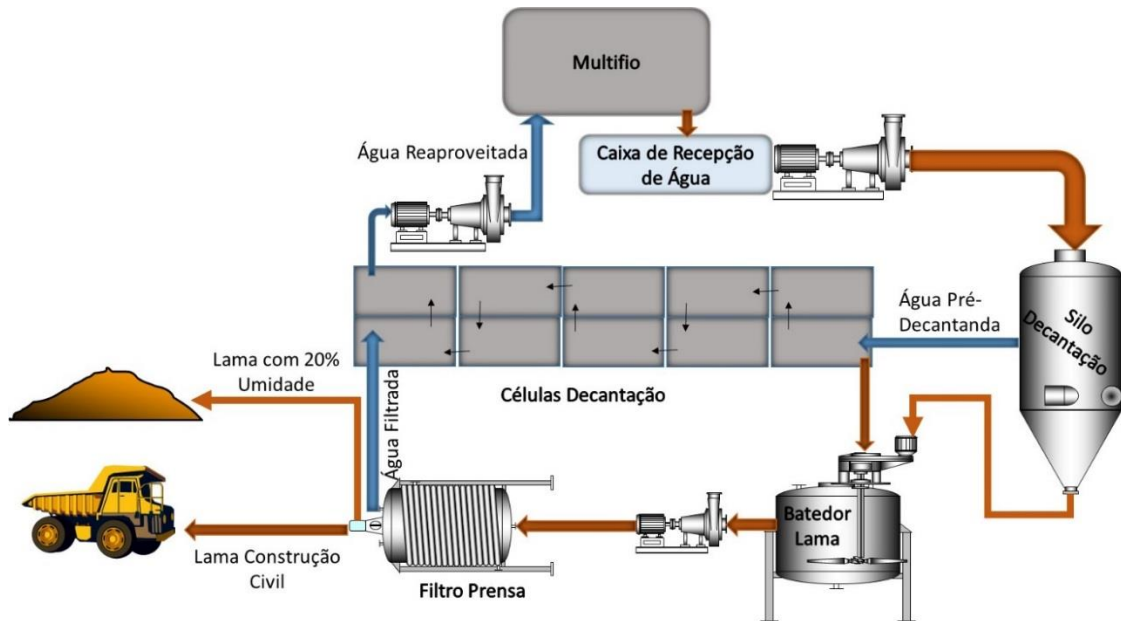


Figura 6. Processo de formação de resíduo seco no processo de beneficiamento primário de rochas ornamentais. Fonte: Jean Yves, Kerollan Ramos, Mauro Machado Filho, Thamiris Castro, Vitor Maia

A Figura 6 demonstra o fluxograma de geração de resíduos oriundo do beneficiamento primário de rochas ornamentais, assim como o reaproveitamento de água do processo por meio de silos de decantação, células de decantação, bateador de lama e filtro prensa.

Já o beneficiamento secundário, tem como objetivo promover às chapas um acabamento final para a comercialização. Esta fase engloba os processos de levigamento, resinagem e polimento, que reduzem a rugosidade da superfície da rocha por meio do uso de elementos abrasivos, sendo o último processo indispensável para operação. Segundo o Alencar (2013) o brilho conferido a uma chapa é inversamente proporcional a sua rugosidade.

O levigamento é uma etapa preparatória à resinagem, na qual a superfície da rocha é lustrada fazendo-se uso de um equipamento politríz, a fim de se reduzir as imperfeições originadas pela serragem e eliminar uma rugosidade mais grossa, os abrasivos utilizados nesta etapa possuem granulação grosseira, sendo de, 24, 36 e 60 mesh (ALMEIDA, 2019). A resinagem, por sua vez, promove impermeabilização, mais brilho e resistência a agentes intempéris, por meio da aplicação de resina e catalizador sobre a superfície da rocha (ROXO et al., 2006).

O polimento é um processo realizado com uma máquina politríz semi-automática, ou automática em maior escala. Para que ocorra o desbaste da chapa, a politríz pressiona e rotaciona elementos abrasivos de granulação fina, de 120 a 1200 mesh, sobre a superfície da chapa, conferindo-a os aspectos desejados (ALMEIDA, 2019). São 4 os distintos tipos de

abrasivos: O magnesiano, resinoide, diamantado e metálico (ROXO *et al.*, 2006). O processo é realizado a úmido, no qual a água é responsável pela refrigeração do equipamento, além de expurgar os finos gerados pela abrasão.

Ainda segundo Roxo *et al.* (2006), o resíduo gerado no beneficiamento secundário, formado por pó de rocha, água, resina e material abrasivo, é direcionado aos tanques de decantação no qual a fração sólida sedimenta ao fundo, enquanto a fração líquida é reaproveitada no processo. A presença da resina e do material abrasivo diferencia quimicamente o resíduo do beneficiamento secundário, do resíduo proveniente do beneficiamento primário. As resinas mais utilizadas industrialmente são as chamadas resinas epóxi, constituídas de Bisfenol A e Epicloridrina, substâncias com potencial risco ao meio ambiente e à saúde humana (BEZERRA *et al.*, 2012).

3.2 Materiais Cerâmicos

3.2.1 Definição e histórico

Segundo Bogas (2013) materiais cerâmicos são caracterizados por resistência mecânica e à elevadas temperaturas, reduzida tenacidade, elevada dureza, propriedades isolantes, ductilidade, boa resistência química. Sua aplicação é bem diversificada, desde ladrilhos, tijolos, telhas, louças e até mesmo componentes eletrônicos, sensores, revestimento refratário de altos-fornos, entre outros.

Os materiais cerâmicos podem se dividir em materiais cerâmicos tradicionais e técnicos. Os tradicionais são elaborados por meio de materiais silicatados, e no geral são relacionados a olarias e produtos utilizados na construção civil, como os tijolos, telhas, porcelana e grés. Enquanto os materiais cerâmicos técnicos são associados a produtos de tecnologia avançada, como as cerâmicas piezoelétricas, fibras óticas, e combustíveis nucleares, e sua utilização e estudo são muito recentes quanto comparado ao outro grupo (BOGAS, 2013).

Dentre o grupo da cerâmica tradicional, há a divisão em três subgrupos: a cerâmica vermelha, os materiais de revestimento e a cerâmica branca (SEBRAE 2008).

De acordo com Carter e Norton (2007), materiais cerâmicos são multi-cristalinos, formados por diversos e variados grãos de finos. O comportamento dos materiais cerâmicos, como sua capacidade de absorção de água e sua resistência à compressão, são determinados

pela composição, tamanho e forma dos grãos de suas matérias primas, assim como pela relação de interfaces e cinética entre os grãos.

3.2.2 Matérias Prima

De acordo com Shrive e Brink (1997), três são os compostos essenciais para fabricação de materiais cerâmicos tradicionais: a argila, feldspato e sílica (quartzo), ainda que outros materiais sejam comumente adicionados à mistura em variadas proporções (MINEROPAR, 2000).

Os argilo-minerais são a base dos materiais cerâmicos, e são responsáveis por proporcionar a característica de plasticidade e maleabilidade à massa cerâmica na etapa de conformação, na qual sua umidade é elevada. Assim que este material é seco, entretanto, sua característica passa a ser a rigidez, fator essencial para a produção cerâmica (BOGAS, 2013).

Em geral os minerais argilosos são compostos por silicatos hidratados de alumínio, podendo conter outros elementos em menor quantidade, como o magnésio, e o potássio. A caulinita é o argilo-mineral com uso mais difundido para cerâmicas refratárias (ABCERAM, 2011). Estes minerais de argila de granulação fina, abaixo de 2 μm , são formados a partir do intemperismo de rochas silicáticas e desenvolvimento dos solos, com isso possuem características similares a sua rocha originária e estão presentes em enorme abundância na superfície terrestre (BOGAS, 2013).

Segundo Bogas (2013), argilas podem ser classificadas como puras ou impuras quando analisadas sua cor de cozimento e presença de elementos químicos, como é apresentado no Quadro 5. O argilo-mineral de maior pureza e plasticidade é a caulinita. As argilas refratárias são classificadas como puras até um limite de 6% de impureza, e caracterizadas por uma alta resistência térmica à deformação. Quanto as impuras, as argilas fusíveis contêm alto teor de óxidos de ferro, ao passo que as argilas vitrificáveis contêm sílica. O óxido de ferro é responsável pela coloração diversificada na etapa de cozimento, enquanto a sílica atua como vidro-aglutinador refratário, gerando a fase vítrea ao reagir com minerais fundentes.

Quadro 5. Grau de pureza das argilas.

Puras	Impuras
Cor de cozimento branca	Cor de cozimento vermelha e amarelada
Argila Plástica	Argila Fusíveis
Argilas Refratárias	Argila vitrificável

Fonte: Bogas, 2013

A sílica utilizada na indústria cerâmica consiste basicamente na areia de quartzo. De acordo com Boch e Nièpce (2007) a areia de sílica contém entre 95 e 100% de quartzo, aumentando sua qualidade conforme o seu incremento percentual. Esta areia silicosa é utilizada como esqueleto cerâmico, pois, devido a sua refratariedade, resiste a altas temperaturas de queima sem sofrer deformação estrutural. Ainda assim, é capaz de reagir com minerais fundentes e como produto obter a formação da fase vítrea, interessante pela redução da porosidade, aumento da massa específica aparente e resistência mecânica (ABAJO, 2000).

O feldspato por sua vez é uma matéria prima fundente devido ao seu baixo ponto de fusão, e assim é capaz promover a cinética de sinterização durante a etapa de queima, por meio da formação de fase líquida, preenchimento de espaços vazios e posterior recristalização (BORBA *et al.*, 1996). Pode-se dividir o grupo dos feldspato em quatro tipos: ortoclásio (também conhecido como k-feldspato), albita, anortita e petalita. Sendo o primeiro tipo o mais interessante à mistura cerâmica, devido a sua reação com sílica formando um líquido viscoso, futuramente vitrificável (BOCH e NIÈPCE, 2007).

3.2.3 Cerâmica vermelha e seu processo de Fabricação

De acordo com CTESB (2008) o processo de fabricação da cerâmica vermelha consiste nas etapas de adequação granulométrica, homogeneização da mistura, conformação da peça cerâmica, tratamento térmico e acabamento.

A adequação granulométrica é uma etapa de extrema importância para que se tenha um ótimo aproveitamento da mistura cerâmica. De acordo com Pradicelli e Melchiades (1997), deve haver uma dosagem entre granulações finas e médias, em torno de 15 μm , para que haja uma conformação satisfatória de corpos cerâmicos, conforma apresentado pelo Quadro 6.

Quadro 6. Composição granulométrica para produtos da cerâmica vermelha

Produtos de cerâmica vermelha	Composição Granulométrica (%)		
	< 2 μm	2 a 20 μm	> 20 μm
Telhas	30 a 40	20 a 50	20 a 40
Tijolos Furados	20 a 30	20 a 55	20 a 50
Tijolos Maciços	15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: Pradicelli e Melchiades, 1997

A etapa de conformação é definida de acordo com a forma e as dimensões do produto a se obter, e devem ser previamente analisada as propriedades e comportamento das matérias primas diante deste processo. Conforme estudado por Paschoal (2003), é indicado que a umidade da mistura cerâmica se enquadre na faixa de 5 e 15% para que haja a conformação dos corpos cerâmicos, por meio do processo de prensagem, sem a ocorrência de trincas, empenamentos e vazamento de material do molde cerâmico.

Os métodos de conformação mais comuns à fabricação de tijolos e telhas de cerâmica vermelha são: extrusão e prensagem. Durante o processo de extrusão a massa cerâmica percorre por uma máquina chamada extrusora, na qual é compactada diante a um bocal com formato pré-definido. Corpos cerâmicos contínuos deixam a extrusora, com formato adequado ao bocal, e são por fim cortados por lâminas conforme estabelecidas as dimensões da peça (CTESB, 2008). A Figura 7 apresenta um exemplo de extrusora. A prensagem, por sua vez, é baseada na compactação da massa cerâmica contida no interior de um molde, no qual é aplicado pressão por meio de uma prensa mecânica, hidráulica ou isostática (PEDROTTI, 2011).



Figura 7. Extrusora

Fonte: https://metalcasadaceramica.com.br/painel/uploads/casa_da_ceramica_-_maromba-extrusora-a-vacuo_2018-05-15-20-58-0.png

O tratamento térmico baseia-se nos processos de secagem e queima. Sendo o primeiro um processo mais simples, cujo objetivo é a redução do volume de água no interior do corpo cerâmico (PRADICELLI e MELCHIADES, 1997). Já o processo de queima, tem como objetivo desenvolver condições de resistência mecânica, acréscimo de densidade e redução da taxa de absorção de água por meio de ação de calor (ROSS, 1991). A sinterização, processo associado à etapa de queima, consiste na união da superfície de contato das partículas por coalescência, devido à difusão atômica entre estas, que ocorre a temperaturas próximas ao ponto de fusão. (BOGAS, 2013).

Durante a etapa de queima ocorre uma série de alterações físicas e químicas ao corpo cerâmico. De acordo com Noni Jr (2005), estão entre as principais transformações físicas a desidratação, retração, fusão e sinterização dos minerais presentes do corpo cerâmico, além de transformações alotrópicas, como mostrado no Quadro 7. O Quadro 8, por sua vez, apresenta as principais alterações químicas que ocorrem durante a queima, como a decomposição de matéria orgânica, além da decomposição e oxidação de minerais em função de sua composição química.

Quadro 7. Transformações físicas que ocorrem durante a etapa de queima de corpos cerâmicos

Transformações Físicas	
Desidratação	Queda de umidade
Retração	Varição das dimensões do corpo cerâmico
Transformações Alotrópicas	Alteração arranjo cristalino de certos materiais
Fusão	Mudança de estado sólido para líquido
Sinterização	União de partículas em superfícies de contato.

Fonte: Noni Jr, 2005

Quadro 8. Transformações químicas que ocorrem durante a etapa de queima de corpos cerâmicos

Transformações Químicas
Decomposição de Matéria Orgânica
Decomposição de carbonatos: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
Oxidação de óxidos de ferro e enxofre
Formação de novas fases

Fonte: Noni Jr, 2005

3.3 Incorporação de resíduos na indústria da cerâmica

De acordo com Luz e Lins (2008), tanto a pesquisa quanto a reciclagem e o aproveitamento de resíduos se tornou uma tendência ao redor do mundo, empresas privadas observam a utilização destes como uma alternativa altamente rentável, tendo em vista o esgotamento de reservas de matérias primas naturais e a dificuldade cada vez maior de se desenvolver áreas ambientalmente adequadas ao descarte, somados ao crescente volume de resíduos gerados.

O uso de matérias primas alternativas na fabricação cerâmica é vasto, como resíduos oriundos da metalurgia, indústria do papel e celulose, e principalmente da mineração. Esta diversidade, que destaca a indústria da cerâmica na reciclagem de resíduos industriais, se deve ao fato desta indústria ser uma das poucas na qual é possível obter ganhos nos seus parâmetros desejados por meio da incorporação de resíduos entre suas matérias primas originais (WENDER e BALDO, 1998).

O caráter positivo da aplicação de resíduos de rochas ornamentais na incorporação de corpos cerâmicos, pode ser explicado devido as argilas, matéria prima base da cerâmica, serem oriundas da decomposição de rochas ao longo do tempo geológico, o que implica uma certa similaridade entre as composições destas e os resíduos secos provenientes da serragem de rochas (TORRES *et al.*, 2004). Do ponto de vista da indústria cerâmica, os resíduos à seco

foram classificados por Menezes *et al.* (2002), de acordo com seus principais efeitos quando misturados à matéria prima cerâmica: redutores de plasticidade, fundentes, combustíveis, e cinzas volantes.

Os resíduos redutores de plasticidade são em sua maioria provenientes da mineração e seu beneficiamento. Segundo Dondi *et al.* (1997), resíduos redutores no geral são de composição silicatada, capazes de suportar altas temperaturas durante a etapa de queima sem sofrer alterações em sua estrutura sólida, atuando como refratários, e com isso reduzem a plasticidade do corpo cerâmico.

Segundo Menezes *et al.* (2002), resíduos fundentes são associados às indústrias mecânica, metalúrgica e a própria indústria cerâmica, e sua composição é no geral sílico-aluminosa. Uma vez que possuem um baixo ponto de fusão, são capazes formar fase líquida mesmo à baixas temperaturas de queima, e conseqüentemente promover a cinética de sinterização resultando no preenchimento dos poros. (BORBA *et al.*, 1996).

Resíduos combustíveis contém elevado teor de substâncias orgânicas, uma vez que estão associados a processos como tratamento de rejeito urbano, indústria de papel, madeira, carvão, o que lhes confere um alto poder calorífico. O uso de resíduos combustíveis como auxiliares no processo de queima de corpos cerâmicos é capaz de proporcionar uma significativa economia energética (MENEZES *et al.*, 2002)

Por fim, os resíduos classificados como cinzas volantes são provenientes da queima de carvão mineral em centrais termoelétricas, e podem possuir até 16% de carbono combustível. Apesar de certas similaridades entre estes resíduos e os resíduos combustíveis, eles são classificados em categorias distintas devido à peculiaridades físico-químicas, que permitem sua utilização tanto como fonte de energia, por meio de incineração e retenção de gases e calor, quanto como na produção de vidros, vidro-cerâmicos e compósitos, quando incorporados à matéria prima (MENEZES *et al.*, 2002)

O Quadro 9 sintetiza os quatro tipos de resíduos citados anteriormente, assim como apresenta de maneira breve a origem e funcionalidade base de cada um destes resíduos.

Quadro 9. Os principais tipos de resíduo

Tipo de resíduos	Origem	Função
Redutores de Plasticidade	Mineração	Refratários, consolidação estrutural
Fundentes	Industria mecânica, metalúrgica e cerâmica	Formação de fase líquida, melhora cinética de sinterização
Combustíveis	Industria de alto teor de substâncias orgânicas	Fonte de energia para o processo de queima
Cinzas Volantes	Queima de carvão mineral	Fonte de energia; produção de vidro e derivados

Fonte: Menezes et al (2002).

Um estudo realizado por Torres *et al* (2006) demonstra a viabilidade do uso de resíduos de granito, oriundos do processo de beneficiamento primário de rochas ornamentais, na fabricação de ladrilhos para pavimentação. Foram desenvolvidas misturas que variam de 60 a 70% de resíduos de granito, com temperaturas de queima de 1100°C a 1200°C. Os resultados indicaram que os resíduos de granito, devido ao sua alta proporção de caulinita fundente, ajudaram na maturação do corpo cerâmico por meio da sinterização à baixas temperaturas de queima, viabilizando uma redução de até 5% no parâmetro absorção de água e um acréscimo de 14% na massa específica aparente do material para uma temperatura de queima de 1100°C, e é portanto um bom substituto do material argiloso, além de satisfazer as demandas da norma ISO 13006, que define padrões de alta qualidade para fabricação de cerâmica industrial por extrusão e/ou prensagem.

Foi desenvolvido por Xavier (2006) um estudo para analisar a incorporação de resíduo granítico gerado do setor de rochas ornamentais em massas cerâmicas. Foi constatado que para fabricação de telhas de cerâmica vermelha, uma mistura de até 5% deste granito, conformada por prensagem, quando submetido a uma temperatura de queima de 950°C, é capaz de promover um aumento da massa específica aparente, e consequentemente otimizar propriedades de absorção de água em 18%, e resistência à flexão em até 12 MPa.

Segadães *et al.* (2005) estudaram o comportamento de corpos cerâmicos em função da adição resíduos do setor de rochas ornamentais. Observou-se que para substituições de 30% de argila por resíduo granítico, é possível obter resultados promissores utilizando-se temperaturas de queima inferiores a 1150°C, gerando assim uma significativa economia energética, sem afetar de forma negativa a estrutura do material cerâmica.

Em diversos estudos de incorporação de resíduos à massas cerâmicas são realizados ensaios tecnológicos, a fim de se mensurar a influência destes resíduos na qualidade do produto cerâmico. Desta forma, estes ensaios tecnológicos devem se enquadrar a normas técnicas previamente definidas. As medidas de retração linear de secagem (RLS) e retração linear de queima (RLQ) foram fundamentadas na norma ABNT/NBR 13582/97. Enquanto o ensaio de absorção de água (AA) de acordo com a norma ABNT/NBR 15270-3/05, e os ensaios de massa específica aparente (MEA) e resistência à compressão uniaxial (RCU) foram determinadas através da ABNT/NBR 6220-11, conforme apresentado pelo Quadro 10.

Quadro 10. Normas de resultados de ensaios tecnológicos para tipos de cerâmica vermelha

Cerâmica Vermelha	Parâmetros				
	RLS	RLQ	AA	RCU	MEA
Tijolo Maciço	<i>Max. 6%</i>	<i>Max. 12%</i>	<i>(Não citado)</i>	<i>Mín. 4 MPa</i>	<i>Mín. 1,7 g/cm³</i>
Bloco Vedação	<i>Max. 6%</i>	<i>Max. 12%</i>	<i>Entre 8% e 22%</i>	<i>Mín. 3 MPa</i>	<i>Mín. 1,7 g/cm³</i>
Bloco Estrutural	<i>Max. 6%</i>	<i>Max. 12%</i>	<i>Entre 8% e 22%</i>	<i>Mín. 3 MPa</i>	<i>Mín. 1,7 g/cm³</i>
Norma Regente	ABNT/NBR 13582/97	ABNT/NBR 13582/97	ABNT/NBR 15270-3/05	ABNT/NBR 6220-11.	ABNT/NBR 6220-11.

Fonte: ABNT/NBR 13582/97, ABNT/NBR 15270-3, ABNT/NBR 6220-11.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Matéria prima argilosa

O solo argiloso utilizado neste trabalho é oriundo do distrito de Cachoeira do Campo - MG e foi previamente caracterizado por Ferreira (2013), conforme apresenta o Quadro 11, referente à composição química do material argiloso, e o Quadro 12 contendo informações quanto à propriedades físicas e mineralógicas.

Quadro 11. Composição química da amostra de solo argiloso

Composição química (%)					
Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	K ₂ O	SiO ₂
28,91	5,96	0,143	1,48	0,64	62,62

Fonte: Ferreira, 2013

Quadro 12. Propriedades físicas e composição mineralógico do solo argiloso

Parâmetro	Solo
Área superficial (m ² /g)	32,41
Densidade (g/cm ³)	2,59
Porosidade (%)	1,6
Umidade	12,53%
Mineralogia	Quartzo (SiO ₂) Caulinita (SiO ₂ Al ₂ O ₅ (OH) ₄) Muscovita(KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂)

Fonte: Ferreira, 2013

Souza (2016) realizou a cominuição e adequação da amostra de solo para a utilização desta na confecção de cerâmica vermelha. Ao fim do processo de cominuição o material apresentou um d₈₀ de 90µm. O Quadro 13 apresenta a distribuição granulométrica realizada por Souza (2016).

Quadro 13. Distribuição granulométrica do solo argiloso

Distribuição Granulométrica (%)		
2 µm	2 a 20 µm	> 20 µm
8	36,7	55,3

Fonte: Souza, 2016

Foram realizados por Souza (2016) os ensaios tecnológicos de retração linear de secagem e queima, massa específica aparente, absorção de água e resistência à compressão

uniaxial do solo previamente cominuído, os resultados destes parâmetros analisados são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14. Valores de ensaios tecnológicos previamente caracterizados

Corpo de Prova	RLS (%)	RLQ (%)	MEA (g/cm³)	AA (%)	RCU (MPa)
Solo	-0,12	2,96	1,57	27,03	50,90

Fonte: Souza, 2016

4.2 Resíduo de granito e sua caracterização

O resíduo de granito utilizado neste trabalho é proveniente do processo de beneficiamento primário de rochas ornamentais, por meio de um equipamento tear múltifio diamantado, realizado pela empresa Nova Aurora Mármore e Granitos Ltda. no município de Medina - MG.

O material que deu origem ao resíduo granítico deste trabalho tem o nome comercial de White Spring, e a sua produção mensal, de blocos transformados em chapas, é apresentada pelo Quadro 15.

Quadro 15. Produção mensal do material White Spring

Material	Densidade (t/m³)	Produção mensal (blocos/mês)
White Spring	2,4	25

Fonte: Nova Aurora Mármore e Granitos Ltda.

Pode-se estimar uma produção anual em torno de 300 blocos, cada bloco com uma massa próxima a 25 toneladas, apenas deste material granítico intitulado White Spring. Fato este que evidencia a importância do aproveitamento do resíduo deste processo de serragem, que equivale, em massa, a 26% de cada bloco (SOUZA, 2012). Obteve-se uma amostra de 23 kg deste resíduo para os fins de estudo.

4.2.1 Homogeneização, quarteamento e amostragem

Inicialmente a amostra de 23kg de resíduo granítico foi seca ao ar livre por 48h, homogeneizada e quarteada por meio dos métodos de pilha alongada e pilha cônica (Laboratório de Tratamento de Minérios – DEMIM – UFOP). O processo de quarteamento, Figura 3, foi realizado visando a obtenção de amostras representativas para os ensaios de:

análise granulométrica, densidade, análise mineralógica, análise química e determinação de umidade.

4.2.2 Peneiramento

A análise granulométrica pôde ser dividida em duas etapas, a primeira realizada por peneiramento a úmido, utilizando um peneirador vibratório vertical e a seguinte série de peneiras: 212, 150, 106, 74, 53, 44 e 37 μm (Laboratório de Tratamento de Minérios – DEMIN – UFOP). A fração abaixo de 37 μm , por sua vez, foi analisada através do equipamento granulômetro à laser Cilas 1064 (Laboratório de Propriedades Interfaciais – DEMIM – UFOP).

4.2.3 Determinação da densidade

A densidade do resíduo foi determinada pelo método da picnometria. Para tal, foram aferidas as massas do picnômetro vazio, com resíduo, com resíduo e água e por fim, apenas com água. O ensaio foi realizado em duplicata (Laboratório de Tratamento de Minérios – DEMIM – UFOP). Então, por meio da Equação (1) a seguir, obteve-se o valor definitivo da densidade:

$$D = \frac{\text{PIC resíduo} - \text{PIC vazio}}{(\text{PIC água} + \text{PIC resíduo}) - (\text{PIC resíduo e água} + \text{PIC vazio})} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- D = Densidade
- PIC resíduo = Massa do picnômetro preenchido com resíduo
- PIC vazio = Massa do picnômetro vazio
- PIC água = Massa do picnômetro preenchido com água
- PIC resíduo + água = Massa do picnômetro preenchido por resíduo saturado

4.2.4 Análise Mineralógica

A composição mineralógica foi determinada de forma qualitativa, por meio da técnica de difratometria de raios x, utilizando o método do pó total, realizado através do equipamento difratômetro Pan Analytical, modelo X Pert³ Powder com tubo de cobre, apresentado pela Figura 8 (Laboratório de Microscopia Ótica e Difração de Raios X – DEMIM – UFOP).



Figura 8. Equipamento Difratômetro Pan Analytical X Pert³ Powder

4.2.5 Análise Química

A composição química foi determinada por Fluorescência de raios X, equipamento Pan Analytical Zetium Mineral Edition EP03, realizada no Laboratório de Análises Químicas da Fundação Gorceix.

4.2.6 Determinação da umidade

A umidade do resíduo granítico foi determinada pela balança analítica Marte ID200 (Laboratório de Materiais Cerâmicos – DEMIM – UFOP). O processo consiste na disposição de 3g do material sólido no interior da balança, na ativação de seu sistema operacional, e após 3 minutos é apresentada a umidade do material. O processo foi realizado em triplicata.

4.3 Conformação dos corpos cerâmicos

Foram conformados corpos cerâmicos com substituições, em volume, de 10 (G10), 15 (G15) e 100% (G100) de solo argiloso por resíduo granítico. Para as condições de prensagem, secagem e queima, foram utilizados valores experimentados por Souza (2016), em sua caracterização do solo argiloso utilizado neste trabalho, mantendo-se um padrão de conformação entre os materiais. A Figura 9 apresenta o fluxograma de conformação dos corpos cerâmicos:

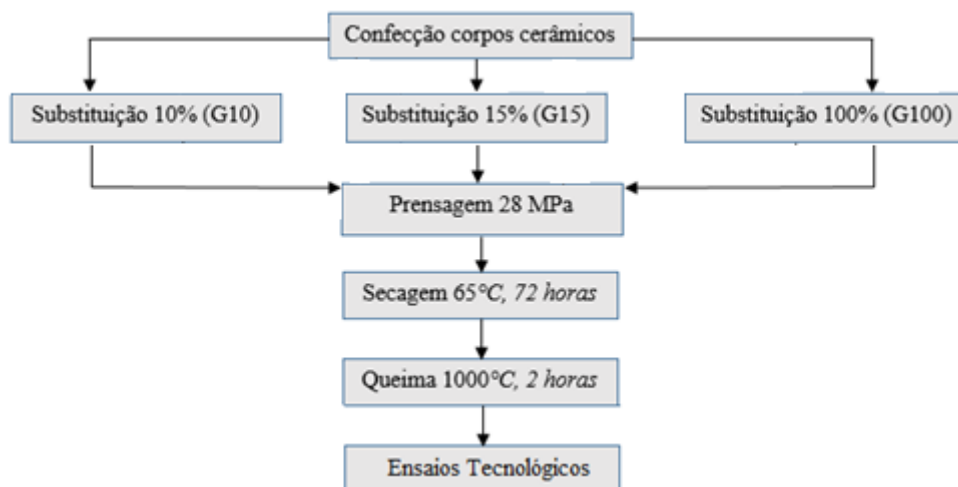


Figura 9. Fluxograma de confecção dos corpos cerâmicos

Durante o processo de formação dos corpos de prova a umidade das massas cerâmicas foi adequada entre 8 e 12%, satisfazendo os valores propostos por Paschoal (2003). Então, utilizou-se o prensa hidráulica C1100 toneladas-força SoloCap (Laboratório de Reologia – DEMIM – UFOP), para a conformação em molde prismático (70 x 10 x 20 mm), à 28 MPa. Por fim, a operação de secagem se deu a uma temperatura de 65°C durante um intervalo de 72h em uma estufa convencional (Laboratório de Tratamento de Minérios – DEMIN –

UFOP), ao passo que a queima foi realizada à 1000 °C, por 2h, em um alto forno da marca Elektro Therm (Laboratório de Reologia – DEMIM – UFOP). As Figuras 10 e 11 apresentam, respectivamente, a prensa hidráulica SoloCap e o alto forno Elektro Therm.



Figura 10. Prensa hidráulica SoloCap



Figura 11. Alto forno Elektro Therm

4.4 Ensaios tecnológicos para cerâmica

Os ensaios tecnológicos objetivam a observação do comportamento dos corpos cerâmicos quanto aos parâmetros de interesse para a indústria da cerâmica, em função da substituição do solo argiloso por resíduo granítico. Foram realizados os seguintes ensaios tecnológicos:

- Retração linear: secagem e queima
- Massa específica aparente
- Absorção de água
- Resistência à compressão uniaxial

4.4.1 Retração linear

A etapa de retração linear consiste na verificação de deformação das dimensões dos corpos cerâmicos em função dos processos de secagem, e de queima. De forma simples, são

aferidas as medidas do comprimento de cada corpo de prova, antes e após os processos de secagem, e de queima, por meio de um paquímetro.

Então é realizado o algebrismo apresentado nas Equações (2) e (3) para a determinação da retração linear de secagem, e retração linear de queima:

$$RLS = \frac{\text{Comp. inic.} - \text{Comp. pós S}}{\text{Comp. pós S}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- RLS = Retração Linear de Secagem (%)
- Comp. inic. = Comprimento anterior a secagem (mm)
- Comp. pós S = Comprimento após a secagem (mm)

$$RLQ = \frac{\text{Comp. pós S} - \text{Comp. pós Q}}{\text{Comp. pós Q}} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

- RLQ = Retração Linear de Queima (%)
- Comp. pós S = Comprimento após a secagem (mm)
- Comp. pós Q = Comprimento após a queima (mm)

4.4.2 Massa Específica Aparente

A determinação da massa específica aparente foi realizada por meio do quociente entre a massa e o volume do corpo cerâmico, após o processo de queima. Como apresentado pela Equação (4):

$$MEA = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}. \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

- MEA = Massa específica aparente (g/cm³)
- Massa = Massa do corpo cerâmico após a queima (g)
- Volume = Volume do corpo cerâmico após a queima (cm³)

4.4.3 Absorção de água

O ensaio tecnológico de absorção de água consiste em medir a quantidade de água que um corpo cerâmico é capaz de absorver, após o processo de queima. O procedimento baseia-se na pesagem do corpo cerâmico seco, e à úmido. O corpo de prova úmido foi preparado por meio da inserção deste em um recipiente de vidro parcialmente cheio de água, cujo fundo revestido com esferas de vidro maciço (evitando o contato direto dos corpos cerâmicos com a fonte de calor), o qual permaneceu em ebulição por 2h. A absorção de água é medida por meio da seguinte Equação (5):

$$AA = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

- AA = Absorção de água (%)
- Mu = Massa do corpo cerâmico à úmido
- Ms = Massa do corpo cerâmico seco

4.4.4 Resistência à Compressão Uniaxial

Este ensaio é realizado com o intuito de mensurar a resistência do corpo cerâmico quando submetido a forças compressivas uniaxiais. O ensaio utilizou a prensa hidráulica C1100 toneladas-força SoloCap, na qual os corpos cerâmicos foram inseridos e centralizados,

um a cada vez, abaixou-se a placa de compressão da prensa até que sua superfície encostasse na superfície do corpo de prova, a prensa hidráulica era então ligada, e a carga causadora de rompimento anotada. A resistência à compressão uniaxial pôde ser determinada segundo a Equação (6):

$$RCU = \frac{F \times 10}{A} \quad \text{(Equação 6)}$$

Em que:

- RCU = Resistência à compressão uniaxial (MPa)
- F = Carga de ruptura do corpo de prova(KN)
- A = Área da Superfície do corpo de prova (cm²)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Tecnológica do Resíduo

5.1.1 Peneiramento

A Figura 12 apresenta a análise granulométrica do resíduo granítico definida a partir do processo de peneiramento. Observa-se uma granulação majoritariamente fina do resíduo, com um d_{80} de $30\mu\text{m}$. Infere-se o caráter positivo do incremento deste resíduo para conformação cerâmica, pois, como definido por Pradicellis e Melchiades (1997) a distribuição granulométrica dos materiais cerâmicos são adequadas quando possuem valores próximos à $15\mu\text{m}$, e observa-se a determinação de d_{50} equivalente à $12\mu\text{m}$ para o resíduo.

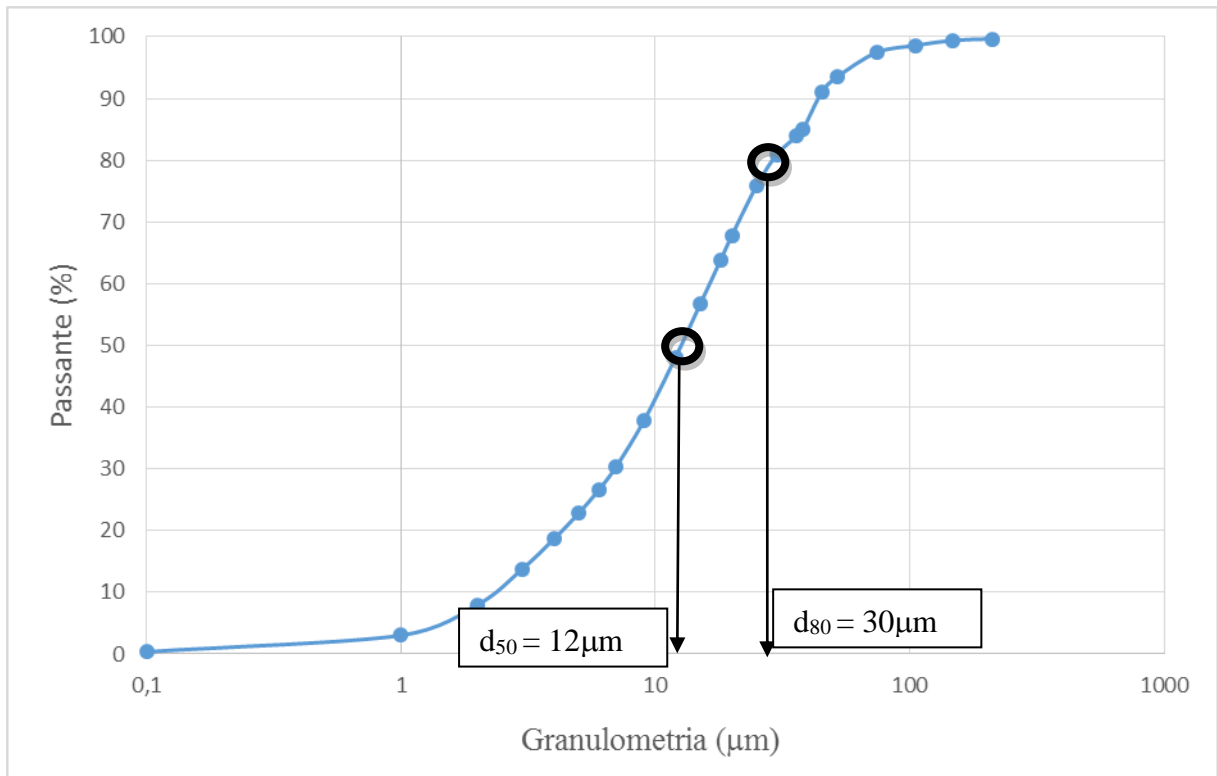


Figura 12. Curva granulométrica do resíduo granítico.

5.1.2 Densidade e Umidade

A partir da caracterização tecnológica determinou-se a densidade do resíduo como $2,36\text{ g/cm}^3$ assim como uma umidade de aproximadamente 4,5%. O valor medido para umidade do resíduo é menor do que faixa proposta por Paschoal (2003), motivo este

responsável pela adequação de umidade realizado para as misturas cerâmica G10, G15 e G100.

5.1.3 Análise Mineralógica

A composição mineralógica determinada qualitativamente através do método do pó total por difratometria de raios X aparenta um caráter favorável à incorporação em material cerâmico. Majoritariamente foram identificados os seguintes minerais: quartzo (30,8%), ortoclásio (16%), albita (52%), sendo estes resíduos redutores de plasticidade e fundentes. A presença destes minerais podem promover uma aceleração na cinética de sinterização, assim como a vitrificação (BOGAS, 2013)

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos para a análise mineralógica do resíduo do beneficiamento primário de granito:

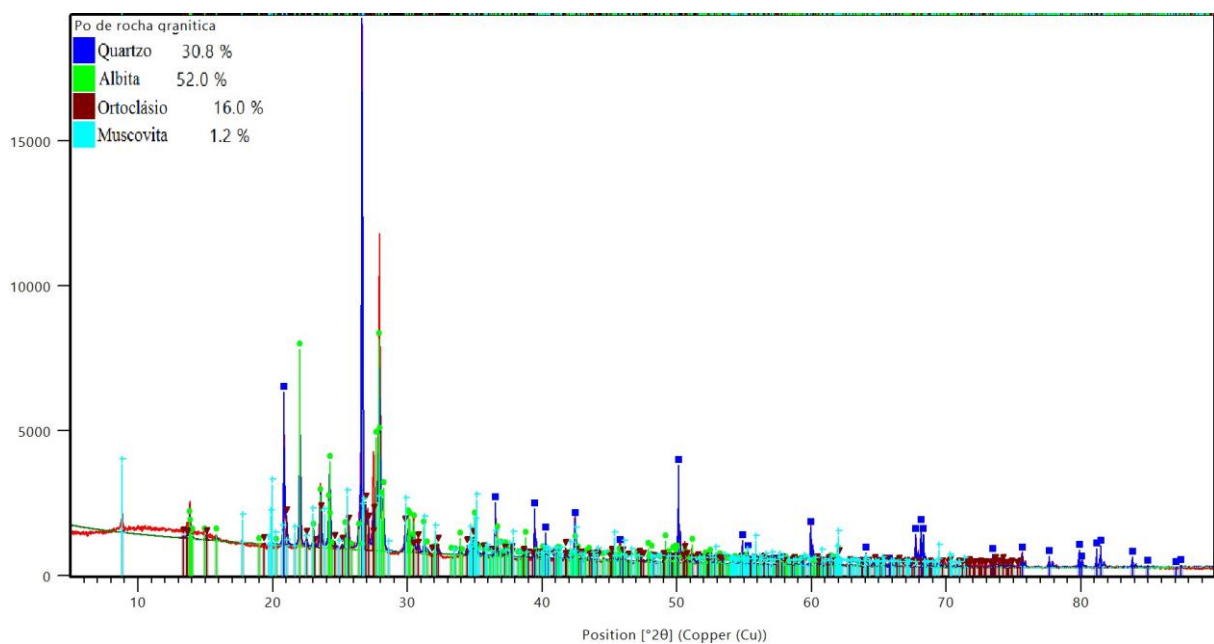


Figura 13. Difratograma do resíduo
Fonte: Difratômetro Pan Analytical, modelo X Pert3 Powder

5.1.4 Análise Química

A composição química, conforme esperado devido a mineralogia, apresenta um teor elevado de elementos relacionados à minerais silicatados. Há um teor elevado de sílica, associado também à elementos como alumínio, sódio e potássio. A composição química da amostra, determinada por fluorescência de raios X, é apresentada pela Quadro 16:

Quadro 16. Resultado análise química por fluorescência de raios X

Composição Química (%)											
	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	PPC	Soma
Amostra	0,56	74,98	14,33	0,05	0,07	0,37	0,10	4,64	3,92	0,54	99,92

5.2 Conformação dos corpos cerâmicos

Os corpos de prova foram desenvolvidos com êxito a partir das etapas de prensagem, secagem e queima. Não houve problemas quanto à presença de trincas e fraturas, conforme o planejado. A coloração dos corpos apresentou uniformidade de tonalidade vermelha, exceto pelos corpos formados 100% por resíduo (G100), no qual apresentou tonalidade branca.

Os corpos cerâmicos nas composições 10, 15 e 100% são apresentados na Figura 14:

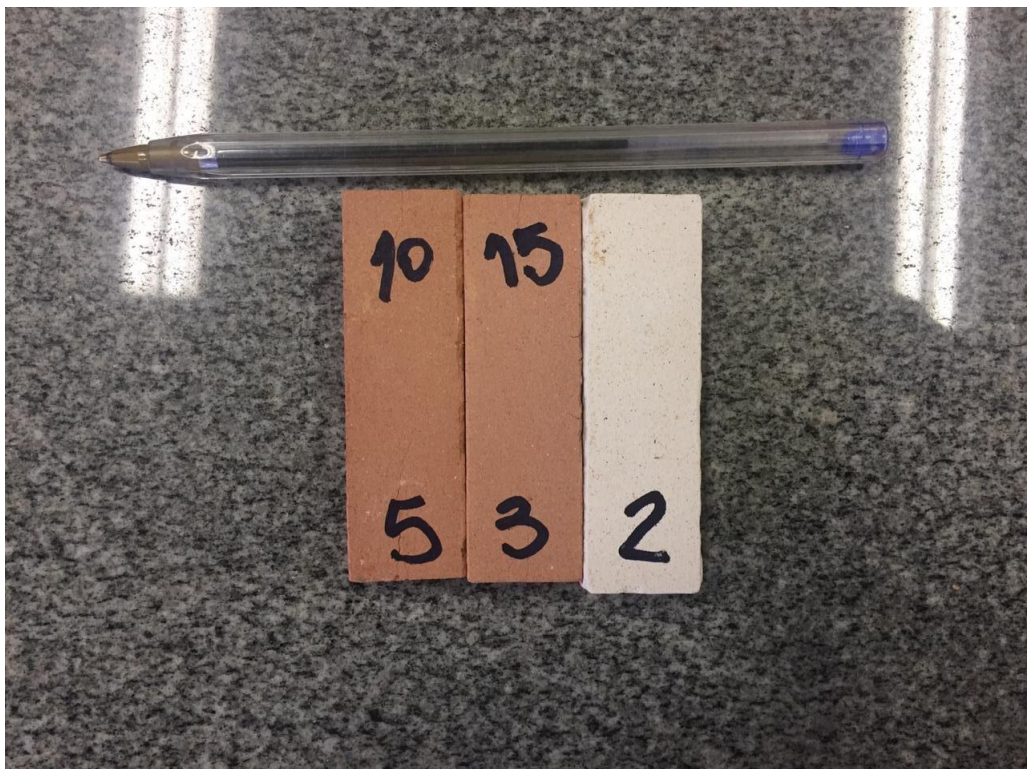


Figura 14. Corpos cerâmicos compostos, respectivamente, por 10, 15, 100% de resíduo granítico

5.3 Ensaios tecnológicos

Os resultados dos ensaios tecnológicos são observados no Quadro 17, para as substituições de 10, 15 e 100% de solo argiloso por resíduo granítico.

Quadro 17. Resultado Ensaio Tecnológicos

Corpo de Prova	RLS (%)	RLQ (%)	MEA (g/cm³)	AA (%)	RCU (Mpa)
G10	0,12	3,37	1,64	21,50	52,91
G15	-0,05	3,65	1,68	20,44	57,79
G100	0,16	0,07	1,52	24,66	17,25

5.3.1 Retração Linear

Os resultados para retração linear de secagem foram muito pequenos, abaixo de 1%, para todas composições, demonstrando irrelevante influência da etapa de secagem na deformação dos corpos cerâmicos. Esta desidratação irrelevante pode estar relacionado tanto a um baixo teor de umidade da mistura cerâmica (Melchtiades *et al.*, 2001), assim como a baixa temperatura de secagem, 65°C.

Já a retração linear de queima apresentou uma redução de volume de 3,37% para a composição G10, e de 3,65% para composição G15, indicando um possível aumento da MEA do corpo cerâmico em função das substituições de 10 e 15% de argila por resíduo, e um consequente impacto positivo nos parâmetros de absorção de água e resistência à compressão uniaxial. O resultado de RLQ para a composição G100 foi irrelevante. Vale ressaltar que houve um aumento no valor de retração linear de queima para as composições G10 e G15, quando comparadas ao corpo de prova formado apenas por solo argiloso previamente caracterizado por Souza (2016), cujo valor é de 2,96%.

Os resultados obtidos para retrações lineares de secagem e queima satisfazem a norma ABNT-NBR 13582/97, com valores, respectivamente, abaixo de 6 e 12%.

5.3.2 Massa Específica Aparente

No que tange o parâmetro massa específica aparente houve um aumento de 4% para a composição G10 em relação ao solo, enquanto a composição G15 registrou um acréscimo de 7%. Ambos pontos positivos, estão relacionado aos processos de sinterização e vitrificação, intensificados pela presença de materiais fundente (feldspatos), e refratário (quartzo) no resíduo (BORBA *et al.*, 1996). Já para composição G100 observou-se uma redução na massa específica de 3,2%

O valores anotados para massa específica aparente das três composições de mistura, G10, G15 e G100 não satisfazem a norma ABNT/NBR 6220/11, ou seja, são inferiores a 1,7 g/cm³. Uma vez que o valor da massa específica aparente do solo argiloso, 1,57 g/cm³ (SOUZA, 2016), também não satisfaz esta norma analisada, é notável o incremento no valor deste parâmetro para as composições com 10 e 15% de resíduo granítico.

5.3.3 Absorção de Água

Houve uma redução na absorção de água para todas as substituições, o que é um fator interessante para indústria da cerâmica vermelha. Enquanto o corpo cerâmico formado apenas por solo apresentou uma absorção de 27,03% (SOUZA, 2016), as misturas cerâmicas G10, G15 e G100, apresentaram, respectivamente, 21,50%, 20,44%, e 24,66%. Os corpos de prova G10 e G15 satisfizeram a norma ABNT/NBR 15270/05 por possuírem uma absorção de água abaixo de 22%, ao contrário do corpo de prova G100.

5.3.4 Resistência à Compressão Uniaxial

Quanto a resistência a compressão, notou-se acréscimos de 4 e 13% para as composições G10 e G15, em comparação ao solo argiloso, enquanto para a composição G100 houve uma queda de 66% na capacidade de resistir à esforços uniaxiais. Os valores medidos para resistência à compressão uniaxial satisfazem o mínimo exigido pela norma ABNT/NBR 6220/11.

6. CONCLUSÃO

Ao fim da realização deste estudo sobre a determinação da viabilidade da utilização de um resíduo granítico, oriundo do beneficiamento primário de rochas ornamentais, na composição de mistura para fabricação de cerâmica vermelha, foi possível concluir:

- O resíduo granítico apresentou, com base em sua caracterização tecnológica, caráter positivo ao incremento em substituição cerâmica devido a sua granulação majoritariamente fina, cujo d_{50} de $12\mu\text{m}$ se encontra próximo à faixa granulométrica ótima indicada pela literatura (Pradicellis e Melchiades, 1997).
- Além disso constatou-se a presença de minerais fundentes e refratários, como o ortoclásio, albita e o quartzo, o que favorece a ocorrência de reações físicas e químicas, como por exemplo a sinterização e a vitrificação, necessárias para o aprimoramento dos parâmetros objetivados na indústria da cerâmica. A composição química do resíduo granítico apresentou similaridade com a do solo argiloso, devido ao alto teor de minerais silicatados associados à elementos como potássio e alumínio, o que facilita a interação entre tais materiais.
- O processo de conformação dos corpos cerâmicos foi realizado de maneira eficiente e satisfatória, no qual não houve problemas relacionados ao surgimento de trincas e empenamentos dos corpos cerâmicos.
- Os resultados para os parâmetros analisados apresentam um comportamento viável para aplicação industrial do resíduo em substituições de 10 e 15%, visto que os corpos G10 e G15 apresentaram ganhos substanciais para os parâmetros MEA (4 e 7%, respectivamente), RCU (4 e 13%, respectivamente) quando comparados ao solo argiloso. Além disso, estas proporções de mistura promoveram uma redução na absorção de água de 27,03% (SOUZA, 2016) para 21,50% e 20,44% respectivamente.
- Os corpos de prova G10 e G15 satisfizeram todas normas as quais foram sujeitos seus ensaios, com exceção da ABNT/NBR 6220-11 relativa à MEA, ainda que seus valores tenham ficado ligeiramente, $0,02\text{ g/cm}^3$ e $0,06\text{ g/cm}^3$ abaixo do $1,7\text{ g/cm}^3$ referido pela norma.

- A composição 100% composta por resíduo granítico não se mostrou favorável à aplicação industrial, os seus resultados para AA, cujo o máximo esperado é de 22%, e MEA destoam dos valores pré-definidos pelas normas citadas, respectivamente 2,66% acima e 0,18 g/cm³ abaixo; além da composição G100 ter apresentado uma queda de 66% no valor de RCU, quando comparado ao solo argiloso individualmente. Evidenciando que a incorporação de resíduo granítico é favorável até certo ponto, podendo ser prejudicial em excesso.

7. SUGESTÕES

Sugiro a realização de trabalhos futuros nos quais se desenvolvam as confecções de corpos de provas com diferentes porcentagens, a fim de se avaliar até que ponto a substituição de solo argiloso por este resíduo granítico possui caráter positivo ao incremento na indústria da cerâmica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAJO, M. F. **Manual sobre Fabricación de Baldosas, Tejas y Ladrillos**. Beralmar, 2000. 360 p.
- ABCERAM. **Materiais primas naturais**. In: < <https://abceram.org.br/materias-primas-naturais/> >. Acesso 25/10/2019
- ABIROCHAS. **Balanco da exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2018**. Associação brasileira de rochas ornamentais. Brasília, 2019. 17p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ISO 13006: Ceramic tiles -- Definitions, classification, characteristics and marking**. 2018.
- _____. **NBR 13582: Conformidade, qualidade e ensaios de telhas cerâmicas**. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. **NBR 15012: Rochas para revestimentos de edificações – Terminologia**. Rio de Janeiro. 2003
- _____. **NBR 15270-3: Componentes Cerâmicos. Parte 1: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação - Terminologia E Requisitos**. Rio de Janeiro. 2005.
- _____. **NBR 6220: Materiais refratários densos conformados - Determinação do volume aparente, densidade de massa aparente, porosidade aparente, absorção e densidade aparente da parte sólida**. Rio de Janeiro. 2011.
- ALENCAR, C. R. A. **Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais no Espírito Santo**. Cachoeiro de Itapemirim - ES: Instituto Euvaldo Lodi, 2013. 242 p. Disponível em: < <http://www.sindirochas.com/arquivos/manual-rochas.pdf> >. Acesso em: 06 Out. 2019.
- ALMEIDA, F. P. **Análise tribológica do sistema de polimento com abrasivos à base de resina de mamona para acabamento superficial de rochas ornamentais**. 2019. 153f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade de São Paulo, São Carlos. 2019.
- BEZERRA, M, R.; SCHIAVINI, J. A.; RODRIGUES, W. C.; PEREIRA, C. S. S. P. Bisfonel A: Sua utilização e a atual polêmica em relação aos possíveis danos à saúde humana. **Revista Eletrônica TECCEN**, Vassouras, v. 5, n:1, 2012. p. 37-46
- BOCH, P; NIÈPCE, J.C. **Ceramic Materials – Processes, Properties and Applications**, ISTE USA, 2007, 573 p.
- BOGAS, J. A. **Materiais Cerâmicos. Técnico Lisboa**, Lisboa, v.1, n.1, 2013. p.1-43,
- BORBA, C. D. G.; NETO, J. B. R.; OLIVEIRA, A. P. N.; ECHUDE, E. C. F.; ALARCÓN, O. E. Estudo de matérias-primas fundentes. **Rev. Cerâmica Industrial**. n.1, 1996. p. 34-39.

BORGES, F. H.; TACHIBANA, W. K. A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente de negócios: uma abordagem histórica. In: **XXV Encontro Nac. de Eng. De Produção**. Porto Alegre RS, Brasil, 2005. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1005_1433.pdf> Acesso em: 14 out. 2019.

CARTER, C. B.; NORTON, M.G. **Ceramic Materials Science and Engineering**, Springer, 2007. 716 p.

CASTRO, N. F.; MARCÓN, D. B.; CATTABRIGA, L.; LIMA, E. F.; ALMEIDA, P.F. Impacto do APL de Rochas Ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. In: Francisco Rego Chaves Fernandes; Maria Amélia Rodrigues da Silva Enríquez; Renata de Carvalho Jimenez Alamino. (Org.). **Recursos Minerais & Sustentabilidade Territorial: arranjos produtivos locais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011.

CTESB. **Cerâmica branca e de revestimento: pisos e revestimentos, isoladores elétricos, louças sanitárias, louças de mesas**. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. São Paulo, 2008, 83 p.

DONDI, M.; MARSIGLI, M.; FABBRI, B. Recycling of industrial and urban wastes in brick production. **Tile and Brick International**. v.13, n.3, 1997. p.218-309.

FERREIRA, W. L. **Adição de Resíduos do Setor Mínero-Metalúrgico na Fabricação de Tijolos Solo-Cal**. 2013. 67f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2013.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas e minerais industriais – Usos e especificações**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 990 p.

MENEZES, R, M.; NEVES, G, A.; FERREIRA, H, C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Rev. Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande. v.6, n.2, 2002. p.303-313.

MELCHIADES, F.G. ROVERI, C. D., SOTÉRIO, J., SILVA, L.L, BOSCHI, A. O. **Controle Dimensional e do Formato de Revestimentos Cerâmicos. Parte I: Dimensões**. Cerâmica Industrial, v.6. 2001. p. 27-33.

MINEROPAR. **Perfil da indústria de cerâmica no Estado de Paraná**. MINERAIS DO PARANÁ S.A. Curitiba, 2000, 78p.

MME. **Setor mineral registra superávit de US\$ 23,4 bilhões em 2018**. Ministério de Minas e Energia, Brasil, 2019. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Foutras-noticias%2F-%2Fasset_publisher%2F32hLrOzMKwWb%2Fcontent%2Fsetor-mineral-fecha-2017-com-superavit-de-us-23-4-bi-maior-dos-ultimos-cinco-anos&_101_assetEntryId=125879640&_101_type=content&_101_urlTitle=setor-mineral-registra-superavit-de-us-23-4-bilho>

s-em-2018&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Fpagina-inicial%2Foutras-noticias%3Fp_p_id%3D%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26_3_groupId%3D0%26_3_keywords%3Dsetor%2Bmineral%2Bfecha%2B2018%26_3_struts_action%3D%252Fsearch%252Fsearch%26_3_redirect%3D%252Fweb%252Fguest%252Fpagina-inicial%252Foutras-noticias%252F-%252Fasset_publisher%252F32hLrOzMKwWb%252Fcontent%252Fsetor-mineral-fecha-2017-com-superavit-de-us-23-4-bi-maior-dos-ultimos-cinco-anos&inheritRedirect=true> Acesso: 14 out. 2019.

NEVES, G.A. **Reciclagem de Resíduos da Serragem de Granitos para Uso como Matéria-Prima Cerâmica**. 2002. 242f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB. 2002.

NONI Jr, A. **Modelagem matemática aplicada ao controle dimensional de placas cerâmicas de monoqueima processadas por via úmida**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

PARAGUASSÚ, A. B.; RODRIGUES, J.E.; RIBEIRO, R. P.; FRAZÃO, E. B. **Indústria da pedra: da extração à aplicação final**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 2017. 143p.

PASCHOAL, J. A. A. **Estudos de parâmetros de qualidade para a cerâmica estrutural vermelha**. 2003. Xf. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

PEDROTI, G. L. **Desenvolvimento de massa cerâmica com uso de resíduo de granito para obtenção de blocos cerâmicos prensados de encaixe de matriz argilosa**. 2011. 174f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos do Goytacazes. 2011.

PRACIDELLI, S.; MELCHIADES, F. G. Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**. v.2, n. 1/2, 1997. 143p.

ROSS, P. J. **Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade**. 4. ed. São Paulo: McGraw-Hill. 1991. 333p.

ROXO, M. B. C. F. O.; MARTINS, C. A. V. N.; OLIVEIRA, T. B.; SILVA, R. B.; COUTO, M. C. L. Análise da Gestão da Água nas Indústrias de Mármore e Granitos. In: XXX Congresso interamericano de ingeniería sanitária y ambiental. 2006, Punta del Este. **Anais eletrônicos**. 8 p. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/uruguay30/br08496_roxo.pdf>. Acesso em: 06 Out 2019.

SEBRAE. **Cerâmica Vermelha para Construção: Telhas, Tijolos e Tubos**. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. 2008. 93p.

SEGADÃES, A. M.; CARVALHO, M. A.; ACCHAR, W. Using marble and granite rejects to enhance the processing of clay products. **Applied Clay Science**. v.30, 2005. p. 42– 52.

SHREVE, R. N.; BRINK JR, J. A. **Indústrias de Cerâmica**. In: **INDÚSTRIAS DE PROCESSOS QUÍMICOS**. 4.a Ed., 1997, Rio de Janeiro. p. 123-137. Editora Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro. 1997.

SILVA, S.A.C. **Caracterização de Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo Potencial de Aplicação na fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento**. 1998. 159f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES.

SINDIROCHAS. **Exportações de rochas; Informativo mensal**. Sindirochas Espírito Santo. Espírito Santo, 2019. 18p.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W.; CASTRO, N. F. **Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas de granitos comerciais**. Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim – ES, 2012. 4p. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/component/k2/item/444-estudo-comparativo-da-utilizacao-de-teares-multilamina-e-multifio-no-beneficiamento-de-granitos-comerciais>>. Acesso em: 06 Out. 2018.

SOUZA, H. N. **Adsorção de óleo diesel em resíduo de esteatito e sua incorporação em cerâmica**. 2016. 70f. Dissertação (Pós graduação em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

TORRES, P. M.; FERNANDES, H. R.; AGATHOPOULOS, S.; TULYAGANOV, D.; FERREIRA, J. M. F. Incorporation of granite cutting sludge in industrial porcelain tile formulations. **Journal of the European Ceramic Society**. v.24, 2004. p. 3177–3185.

TORRES, P.; MANJATE, R. S.; QUARESMA, S.; FERNANDES, H. R.; FERREIRA, J. M. F. Development of ceramic floor tile compositions based on quartzite and granite sludges. **Journal of the European Ceramic Society**. v. 27, 2007. p. 4649-4655.

VIDAL, F.W.H ; CASTRO, F. N. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700p.

WENDER, A. A.; BALDO, B. B. O potencial da utilização de um resíduo argiloso na fabricação de revestimento cerâmico - Parte II. **Rev. Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.3, n.1-2, 1998. p.34-36

XAVIER, G.C. **Resistência, Alterabilidade e Durabilidade de Peças Cerâmicas Vermelhas Incorporadas com Resíduo de Granito**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes - RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2006.